www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

2e JAARGANG NUMMER 8 AUGUSTUS 1937

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

DE BEVEILIGING VAN BOVENGRONDSCHE LAAGSPANNINGSNETTEN TEGEN OVERSPANNING

door J. G. W. MULDER.

Samenvatting. In dit artikel wordt nagegaan, welke eischen men moet stellen aan een deugdelijke beveiliging van bovengrondsche laagspanningsnetten tegen overspanningen. De uitvoering en werking van de Philips overspanningsafleider worden besproken.

Inleiding

Bovengrondsche sterkstroom-distributienetten, die in bijna alle landen nog veelvuldig voorkomen, ondervinden tamelijk dikwijls bedrijfsstoringen tengevolge van overspanningen, die op deze netten worden veroorzaakt door electrische verschijnselen in de atmosfeer. De kans is wel niet groot, dat de leidingen van het net bij een onweer direct zelf door de bliksem worden getroffen, maar het is heelemaal geen uitzondering, dat het net, hetwelk een bepaalde capaciteit ten opzichte van de aarde bezit (vgl. *fig. 1*), zich uit de atmosfeer

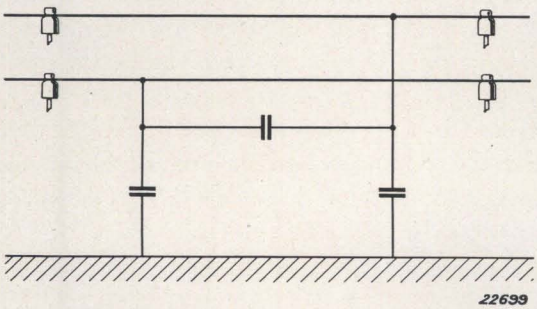


Fig. 1. Vervangingsschema van een bovengrondsche leiding.

tot een dusdanige spanning oplaadt, dat de zwakste deelen der installatie bezwijken. Daar de isolatoren, waarop de leidingen gemonteerd zijn, tegen aanzienlijke overspanning bestand zijn, zijn het gewoonlijk de spoelen van kWh-meters, de isolatie van huisleidingen en dergelijke, die het moeten ontgelden.

Door groote stroomstooten in naburige geleiders, bijvoorbeeld metalen masten en boomen, die door de bliksem worden getroffen, kunnen echter ook overspanningen door electromagnetische inductie in een net worden veroorzaakt. In de geleiders van het net ontstaan dan overspanningsgolven, die de isolatie en de op het net aangesloten installaties in gevaar brengen. Op laagspanningsnetten kunnen overspanningsverschijnselen behalve door atmosferische ontladingen ook door tal van andere oorzaken optreden, zooals groote kortsluitstroomen in naburige hoogspanningsleidingen, schakelstooten, enz. Deze categorieën van overspanningen worden gewoonlijk door de atmosferische in hevigheid verre overtroffen en wij willen er ons in dit artikel ook niet speciaal mee bezighouden. Men neemt nl. veelal aan, dat de geheele installatie zonder speciale maatregelen op deze niet-atmosferische overspanningen berekend dient te zijn.

Intensiteit van de bliksem

De grootte van de ontladingsstroomen, die optreden bij het inslaan van de bliksem is bij hoogspanningsnetten vrij uitvoerig onderzocht. Voor het bepalen ervan bestaan verschillende methoden. Men kan bij voorbeeld de diameter meten van een gaatje, dat de ontladingsstroom slaat in een laagje papier tusschen twee metalen plaatjes en door ijking de bijbehoorende stroomsterkte kennen. Voornamelijk geschiedt de bepaling met behulp van stalen naalden, die magnetiseerbaar zijn. Uit het remanente magnetisme van zoo'n naald, aangebracht in de buurt van een leidingsmast, kan men namelijk de maximale magnetische veldsterkte afleiden, waarin deze naald zich heeft bevonden, onafhankelijk van de tijd gedurende welke dit veld heeft geheerscht. Uit deze maximale magnetische veldsterkte ter

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

plaatse, waar de naald was aangebracht, kan men dan voor de betreffende configuratie de maximale sterkte van de ontladingsstroom berekenen.

Mc Eachron en Mc Morris [1]) registreerden in Amerika op bovenstaande wijze met behulp van 1225 meetplaatsen 156 positieve en 255 negatieve ontladingsstroomen. Van deze 411 geregistreerde ontladingsstroomen was 0,73 % minstens 15 000 A. De grootste stroomsterkte was 17 000 A. Zij geven verder als resultaat der metingen, hoe groot de kansen zijn op bliksemontladingen van bepaalde stroomsterkten. Deze kans blijkt snel af te nemen met toenemende stroomsterkte, zooals te zien is in *fig. 2*, waarin is uitgezet om de hoeveel jaren

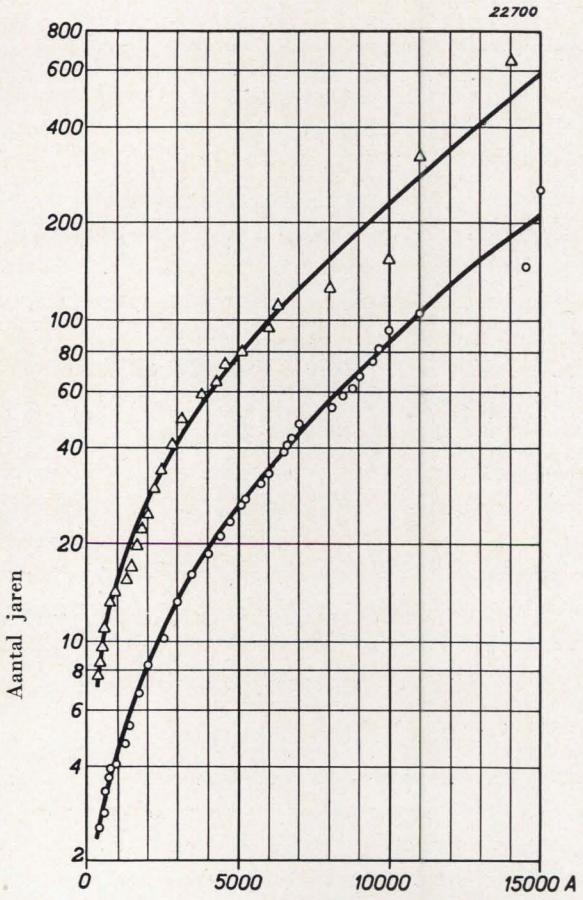


Fig. 2. Tijdvak, waarin eenmaal een bepaald hooge ontladingsstroomsterkte is te verwachten als functie van de stroomsterkte (volgens Mc Eachron en Mc Morris). Bovenste kromme voor een stedelijk en onderste voor een landelijk gebied.

men in een bepaald gebied een ontlading van een bepaalde stroomsterkte mag verwachten.

Het systematisch bestudeeren van atmosferische ontladingen is natuurlijk lastig en tijdroovend, daar het toeval hierbij een zoo groote rol speelt. In de laatste jaren zijn echter in Amerika door het Franklin Instituut en ook in Zwitserland veel waarnemingen verricht en werd ook veel materiaal verwerkt. Het blijkt, dat de stroomsterkten der ontladingen zeer uiteen loopen en wij in Europa rekening moeten houden met nog grootere stroomsterkten dan de bovengenoemden. Een intensiteit van 30 000 à 60 000 A is volstrekt niet buitengewoon; bij uitzondering komen echter ook wel stroomen tusschen 100 000 en 200 000 A voor.

Onder auspiciën van de Hoofdcommissie voor Normalisatie in Nederland werd een commissie gevormd ter bestudeering van de maatregelen ter bescherming tegen bliksemgevaar. Deze commissie zal het resultaat van haar onderzoek binnenkort publiceeren. Er werden veel gegevens verzameld en verwerkt, zoodat onze inzichten betreffende het ontstaan en de uitwerking van de bliksem veel vollediger zijn dan eenige jaren geleden. O.a. werd in Nederland een enquête gehouden, op grond waarvan een kaartje kon worden samengesteld, aangevende op welke wijze de blikseminslagen gedurende een bepaalde periode over Nederland waren verdeeld. Hieruit blijkt, dat deze verdeeling geenszins willekeurig is, maar dat bepaalde streken een veel grootere kans op inslaan van de bliksem hebben. Men kan nu met stelligheid concludeeren, zooals ook al wel in het algemeen bekend was, dat er in de nabijheid van de loop van rivieren en op plaatsen met een hooge grondwaterstand een aanmerkelijk grootere trefkans bestaat. Volgens de ervaring der electriciteitsbedrijven treedt in die gebieden ook inderdaad een abnormaal hoog percentage ontladingen op bovengrondsche leidingen op. Bij de electriciteitsbedrijven zijn veelal bepaalde plaatsen berucht, bij voorbeeld een eenzame boerderij aan het doodloopende einde van een bovengrondsche leiding, waar schier geregeld, d.w.z. maandelijks, de electriciteitsmeter doorsloeg.

Afweermaatregelen

Men heeft reeds lang getracht bovengrondsche leidingen te beveiligen met behulp van inrichtingen, die een overspanning naar aarde kunnen afleiden [2]). Aan een dergelijke inrichting dient men echter zeer zware eischen te stellen, waaraan de oorspronkelijk gebruikte hoornbliksemafleiders (*fig. 3*) niet goed konden voldoen. Zij zijn weliswaar geschikt om stroomstooten van voldoende intensiteit te verwerken en door hun vorm eveneens in staat de ontlading weer te dooven, maar op het punt van begrenzingsspanning schieten zij practisch gewoon-

[1]) Mc Eachron and Mc Morris: Discharge currents in distribution arresters. El. Eng. **54**, 1395-1399, Dec. 1935.

[2]) Over andere beschermingsmaatregelen, zooals condensatoren en dempingskabels zullen wij het hier niet hebben.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

lijk te kort. De afstand tusschen de beide polen van de vonkbrug moet nl. zoo klein zijn, dat reeds bij een spanningsverhooging, die voor de meterspoelen nog niet gevaarlijk is, doorslag plaats vindt. Door vervuiling ontstaat tusschen twee zoo dicht opeen geplaatste electroden echter ook gemakkelijk kortsluiting en met het oog hierop kiest men de afstand tusschen de electroden veelal grooter dan uit hoofde van de eerste eisch wel gewenscht zou zijn. Aangezien, zooals bekend is, de meeste vonkbruggen,

Fig. 3. Montage van hoornbliksemafleiders, die allen boven op de paal aangebracht zijn, teneinde de boog gelegenheid te geven naar boven uit de hoorns te loopen.

zoowel in lucht als in verdunde gassen met een zekere vertraging doorslaan, moet men hier bovendien de zgn. „dynamische doorslagspanning" beschouwen en niet de statische.

Het begrip dynamische doorslagspanning drukt uit, dat voor het ontstaan van een ontlading tijd noodig is. Dientengevolge kan men hooger spanning aan de klemmen van een ontladingsbaan waarnemen, naarmate de tijd, dat die spanning aan de electroden ligt, korter is. De laagste doorslagspanning meet men derhalve met gelijkspanning: statisch. Met snel veranderende spanning, zooals een overspanningsgolf met steil front, meet men aanmerkelijk meer: dynamisch. Ook voor het doorslaan van het isolatiemateriaal der installatie is echter tijd noodig. Voor een deugdelijke overspanningsbeveiliging is nu vereischt, dat de dynamische doorslagspanning van de afleider lager zij dan de dynamische doorslagspanning van het te beschermen materiaal, waarmee hij parallel is geschakeld (*fig. 4*).

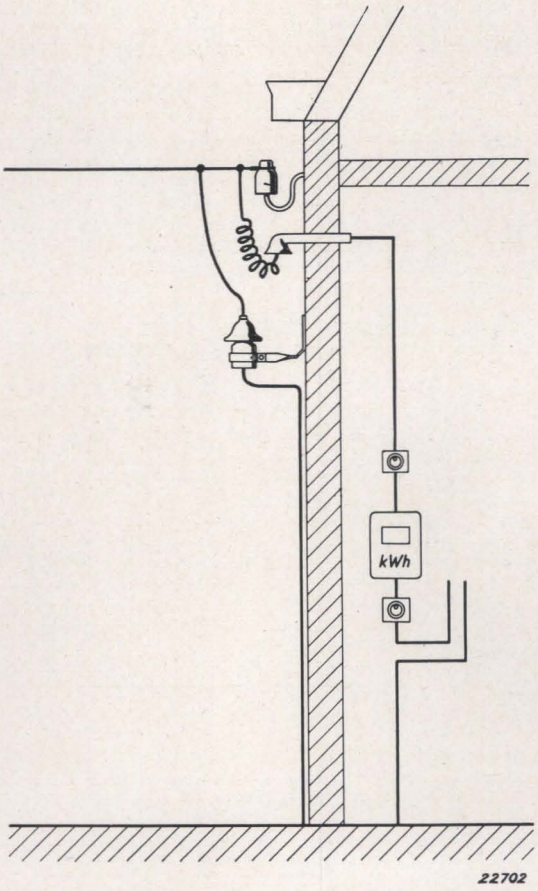


Fig. 4. Schakelschema van een huisinstallatie met overspanningsafeider.

Verder is het ook noodzakelijk, dat de ontlading in de overspanningsbeveiliger weer vanzelf dooft, zoo gauw de overspanningsgolf geëindigd is. Men moet dus tevens eischen, dat de spanning, waarbij uist geen continue ontlading meer door de beveiliger mogelijk is, d.w.z. de doofspanning, zoo hoog mogelijk ligt en in ieder geval natuurlijk ver boven de normale spanning van het net.

De hoofdeischen, aan een deugdelijke afleider te stellen, zijn derhalve:

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

a) lage dynamische doorslagspanning,
b) groot afleidingsvermogen voor electrische ladingen en
c) voldoend hooge doofspanning.

Karakteristieken van de overspanningsafleider

a) en b) worden bepaald met behulp van de beide volgende karakteristieke krommen, welke met een

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = 500\ \Omega,$$

meestal in het eindpunt van een leiding en men gebruikt daarvoor gewoonlijk een steiler golffront dan voor de stroom-spanningskarakteristiek.

Belastbaarheid

c) en ook b) worden gemeten met bepaalde,

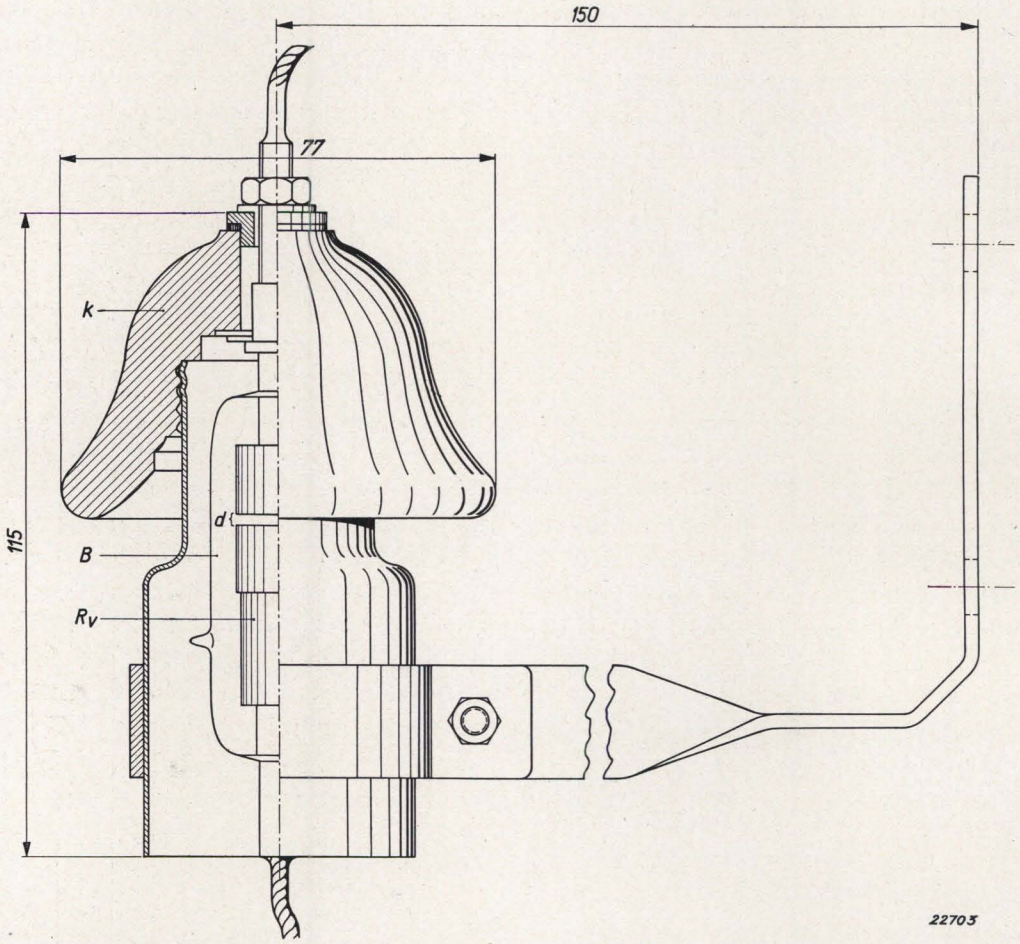


Fig. 5. Doorsnede van een Philips' overspanningsafleider (type 4394) voor laagspanningsnetten, waarop de maten in mm zijn aangegeven. Een klok k beschut de ontladingsbuis B tegen regen. Tusschen twee zware ijzeren electroden bevindt zich de ontladingsbaan d. R_v is de voorschakelweerstand.

stootspanningsgenerator en kathodestraaloscillograaf worden opgenomen. Het zijn:

1) een stroom-spanningskarakteristiek met stootgolf van bepaalde frontsteilheid en ruglengte,
2) een zoogenaamde beschermingskarakteristiek, ($V = f(V_l)$) die aangeeft, welke begrenzingsspanning V aan de afleider op een bepaalde plaats komt te heerschen, als een overspanningsgolf met topwaarde V_l aankomt van een afstand, die groot is ten opzichte van de lengte van de impuls. Zij wordt gemeten met een bepaalde golfweerstand der leiding bijv.:

nauwkeurig omschreven belastingsproeven, waarbij o.a. de genoemde karakteristieken niet noemenswaard veranderen mogen. Daar, zooals we zullen zien, voor het d o o v e n de temperatuur der electroden belangrijk is, wordt een bepaald aantal belastingsstooten met voorgeschreven tusschentijd toegepast; hierbij ligt dan voortdurend een bepaalde spanning van 50 perioden per sec (1,2 tot 1,5 maal de nominale spanning) aan de afleider. De stooten kunnen al of niet gesynchroniseerd worden met het gevaarlijkste moment der laagfrequente spanningsphase.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Behalve bovengenoemde stelt men nog bepaalde andere eischen:

d) de doorslagspanning bij 50 perioden moet natuurlijk ver boven de bedrijfsspanning liggen (bijv. boven tweemaal de bedrijfsspanning) en liefst zoo hoog, dat de afleider bij in het bedrijf voorkomende spanningsverhoogingen in het algemeen niet aanspreekt,

e) de isolatie van afleiders voor laagspanningsnetten moet bestand zijn tegen een beproeving met een overspanning van 3000 V en 50 perioden, waarbij de vonkbrug is verwijderd, onder een kunstmatige regenval van 3 mm per minuut gedurende 5 minuten onder een invalshoek van 45°,

f) de mechanische constructie moet voldoende sterk zijn en bij eventueel defect raken door overbelasting moet de kans op een blijvende kort- of aardsluiting gering zijn.

Officieele keuringsvoorschriften

Voor overspanningsafleiders bestaan nog geen officieele keuringsvoorschriften in de verschillende landen. Uit hetgeen hierboven werd medegedeeld omtrent de voorkomende intensiteiten der bliksemontladingen volgt, dat inrichtingen, die in alle gevallen bestand zouden zijn tegen directe inslag, veel te kostbaar worden om op groote schaal toe te passen. Daarvan heeft men dan ook afgezien, daar duizendtallen overspanningsafleiders op betrekkelijk geringe onderlinge afstand in de distributienetten aangebracht moeten worden.

In Duitschland zijn vanwege de V.D.E. en hier te lande door het Keuringsbureau van Electrotechnische Materialen van de Vereeniging van Directeuren van Electriciteitsbedrijven in Nederland (Kema) ontwerp-voorschriften gemaakt, die momenteel op hun practische bruikbaarheid getoetst worden. De verschillende ontwerpen wijken nog op diverse punten onderling af. De voornaamste verschillen bestaan in de te eischen doofspanning, het al of niet synchroniseeren bij de doofproef, het aantal belastingsstooten en hun tusschenruimte bij de belastingsproef en de vorm der toe te passen stootgolf. Nog zij vermeld, dat de meetresultaten van laatstgenoemde vorm afhankelijk zijn.

De drie hoofdeischen van een lage dynamische doorslagspanning, een groot afleidingsvermogen en een hooge doofspanning worden door de meeste maatregelen niet alle drie tegelijk in gunstigen zin beinvloed, zoodat men bij het sluiten van een practisch compromis dient na te gaan, aan welke der drie eischen men de grootste waarde hecht.

De Philips overspanningsafleider voor laagspanningsnetten, die in dit artikel beschreven wordt, heeft bij voldoend hooge doofspanning (1,25 maal de bedrijfsspanning) een zoo laag mogelijke dynamische doorslagspanning (1500—3500 V met een gemiddelde over 123 stuks van 2400 V).

Moderne afleiders

Met het construeeren van doeltreffende overspanningsafleiders zijn in de laatste jaren snelle vorderingen gemaakt, zoodat zij bezig zijn de

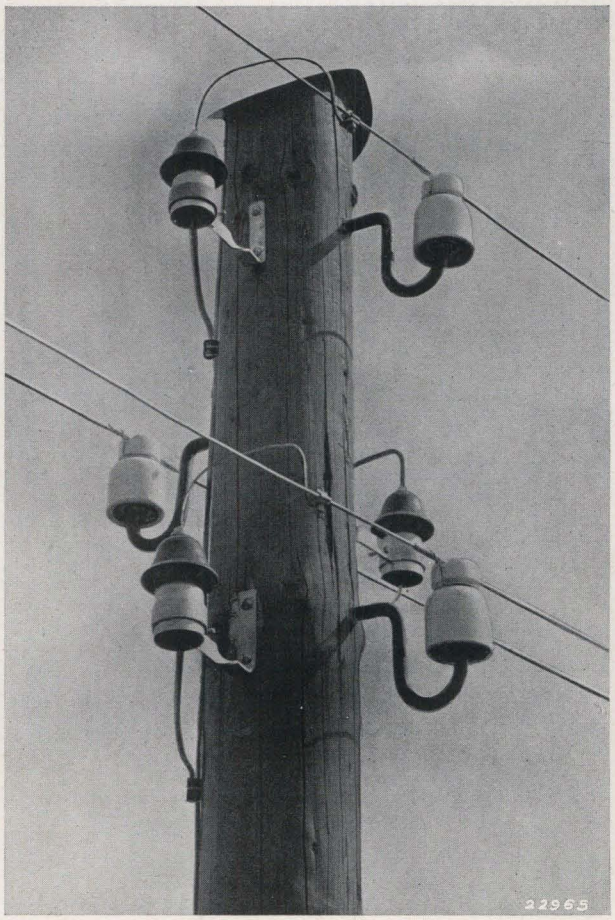


Fig. 6. Montage van de overspanningsafleiders, die niet bovenop de paal behoeven te worden aangebracht, zoodat de montage overzichtelijker is dan van de hoornbliksemafleiders.

verouderde hoornbliksemafleiders te verdringen. Het staat thans reeds zonder twijfel vast, dat de ervaring met deze moderne afleiders gunstig is. Op bovengrondsche laagspanningsnetten, waarin zij zijn toegepast, heeft men een belangrijke vermindering van het storingspercentage kunnen vaststellen, waaruit blijkt, dat de afleiders ook bedrijfszeker functionneeren. Het gebruiken van deze afleiders in de distributienetten neemt dan ook regelmatig toe. In hetgeen volgt, willen wij nu nog een door Philips vervaardigde overspanningsafleider voor

Digitized by www.freeservicemanuals.info
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

laagspanningsnetten en zijn karakteristieke eigenschappen nader beschrijven.

Philips overspanningsafleider

In *fig. 5* is een doorsnede van de afleider weergegeven. De porseleinen klok k beschermt voldoende tegen regen voor buitenmontage. Daaronder bevindt

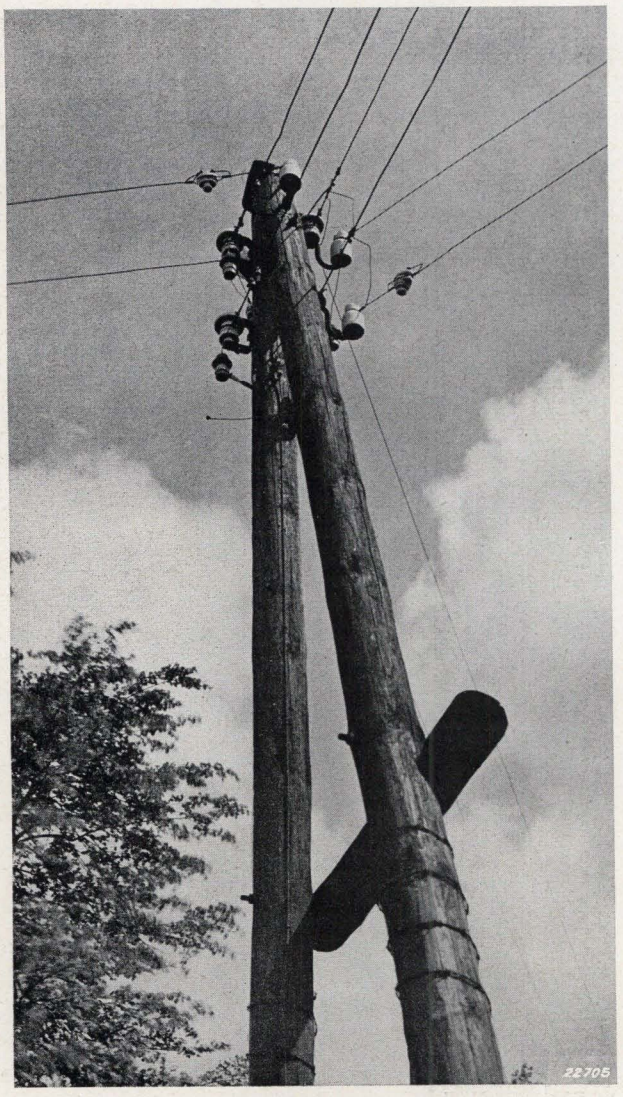


Fig. 7. Opname van een door Philips overspanningsafleiders beveiligde laagspanningsleiding. De betreffende eindpaal is aan een abnormaal hooge inslagkans blootgesteld, blijkens de bedrijfsresultaten, vóór dat de afleiders aangebracht waren. De overspanningsafleider, die zich links onder de isolatoren bevindt, is defect; een electrode hangt duidelijk zichtbaar aan de draad

zich een luchtdicht toegesmolten ontladingsbuis B, die met gas van verminderde druk is gevuld en waarin een ontladingsbaan d is aangebracht. In serie met d is een voorschakelweerstand R_v gemonteerd. Door de weerstand en de ontladingsbaan in een dichtgesmolten buis aan te brengen, bereiken wij ondanks wisselende atmosferische omstandigheden toch een onveranderlijke gesteldheid van deze beide. Dit is van veel belang, daar zij in hooge mate de dynamische doorslagspanning en de doofspanning van de buis bepalen.

Ter vermijding van hooge zelfinducties worden de toevoerdraden zooveel mogelijk zonder lussen of bochten aan de geleidingsdraad en de aardverbinding gemonteerd (vgl. *fig. 6*). Verder dient de aardweer-

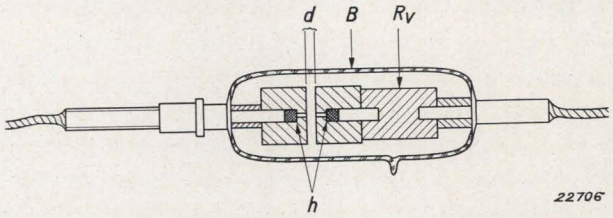


Fig. 8. Doorsnede van de ontladingsbuis B. d ontladingsbaan; R_v voorschakelweerstand. De holten h bevatten stoffen, waaruit alkalimetalen vrijkomen.

stand door zorgvuldige uitvoering der aardverbinding zoo laag mogelijk te worden gehouden. Een practisch voordeel van de beschreven uitvoering is ook nog, dat ingeval een directe bliksem-inslag de glazen buis vernielt, de onderste electrode vrij naar beneden valt en dan zichtbaar aan de verbindingsdraad hangt, zooals op *fig. 7* is waar te nemen. Op deze wijze kan men eventueel defecte veiligheden zeer gemakkelijk opsporen.

Eigenschappen der ontlading

Het vitale element van de afleider, nl. de ontladingsbaan, willen wij nu wat nader beschouwen. In *fig. 8* is de ontladingsbuis B in doorsnede ge-

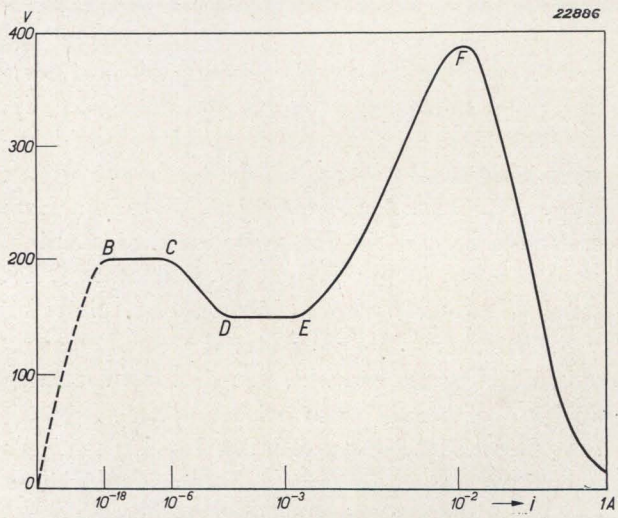


Fig. 9. Schematische karakteristiek van spanning en stroom van een ontlading tusschen evenwijdige platen.

teekend. De electroden zijn zwaar en van massief ijzer uitgevoerd. Een groote warmtecapaciteit is nl. een essentieele voorwaarde voor het snelle

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

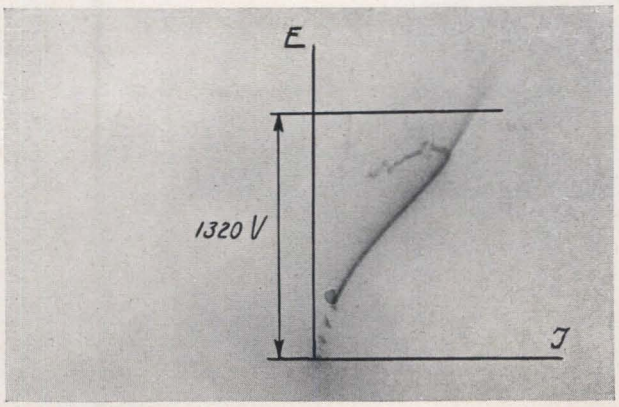
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

dooven der ontlading. In de holten *h* bevindt zich een mengsel van stoffen, waaruit door chemische reactie alkalimetalen vrij komen, die de zware ijzerelectroden oppervlakkig bedekken. Door voortgezette reactie vult deze oppervlaktelaag zich bij elke ontlading aan, zoodat zij steeds intact blijft, waardoor de lage dynamische doorslagspanning gewaarborgd wordt.

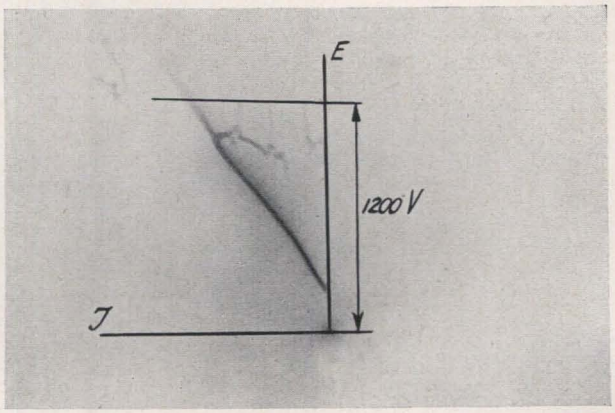
In het Aprilnummer van deze jaargang [3]) hebben M. J. Druyvesteyn en schrijver dezes een algemeene karakteristiek gegeven van een ontlading tusschen evenwijdige vlakke platen. Aan de hand van fig. 1 van dat artikel, die wij hierbij nog eens reproduceeren (*fig. 9*), is de werking van de overspanningsafleider gemakkelijk te verduidelijken. Voor ons speciale geval is hierbij de schaal van de spanning echter wel anders, maar de orde van grootte van de stroomschaal is juist.

Voorloopig zullen wij afzien van de vertraging, die in de ontsteking optreedt bij een uiterst snelle stijging van de spanning. Het blijkt dan, dat de spanning boven een bepaalde drempel *BC* moet komen, opdat een stroomsterkte van eenigszins aanmerkelijke intensiteit door de buis gaat loopen.



22961

a

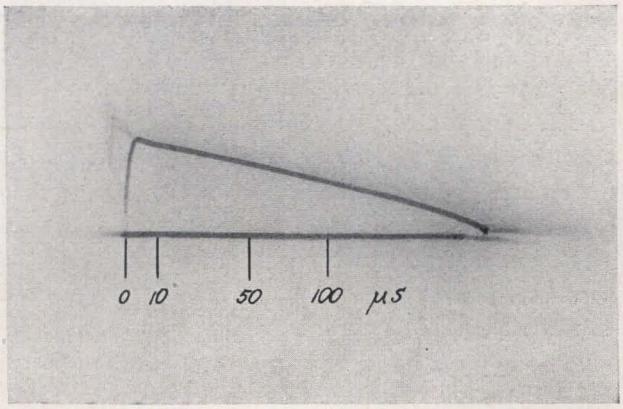


22962

b

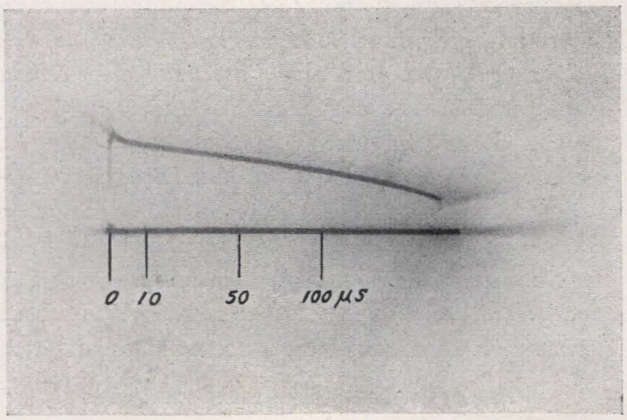
Fig. 10. a) Stroomspanningskarakteristiek van een Philips overspanningsafleider voor laagspanningsnetten, type 4394, bij een positieve stroomstoot van 300 A met een golffront van 30 kV/μsec.
b) Hetzelfde bij een negatieve stroomstoot van dezelfde vorm en sterkte.

[3]) Philips techn. T. **2**, 122, 1937.



22963

a



22964

b

Fig. 11*a* stroomverloop, *b* spanningsverloop als functie van de tijd bij een ontladingsstoot van 300 A, door een Philips overspanningsafleider, type 4394. De maximale uitslagen bedragen resp. 300 A en 1320 V.

Over het gebied *C D E F* treedt een behoorlijke afleiding van electriciteit op. Het optreden van de drempel *B C* hangt af van de aanwezigheid van enkele toevallige electronen in het gas. Ontbreken deze, dan kan de drempel onreproduceerbaar blijken te zijn. De kaliumbedekking van de electroden (fig. 8) is een weinig radio-actief en levert dientengevolge voldoende beginelectronen, zoodat de ontlading zich steeds bij een bepaalde spanning gaat ontwikkelen.

Het verloop van de tak *F G*, waar de ontlading een boog wordt, is afhankelijk van de temperatuur der electroden (kathode). Van *F* naar *G* gaande neemt de kathodetemperatuur toe. Teneinde een groote stroomsterkte te kunnen afleiden moet de spanningsdrempel *F* worden overschreden, die beduidend hooger ligt dan *B C*. Stijgt echter na het bereiken der spanning *F* de electrodetemperatuur te snel, dan is het mogelijk, dat de ontladingsspanning op de tak *F G* daalt tot onder de netspan-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

ning. Dit beteekent, dat de spanningsafleider niet meer zou dooven, als de spanningsgolf voorbij is; de doofspanning zou dan onder de netspanning komen te liggen. De afleider wordt dan verwoest, want op de dalende tak $F\,G$ kan de stroom tot een willekeurig hooge waarde aangroeien, totdat het materiaal der electroden gesmolten is.

Een dergelijk catastrofaal snel toenemen van de temperatuur der electroden wordt echter voorkomen door hun groote warmtecapaciteit. De goede warmtegeleiding vanaf het oppervlak der electroden naar binnen zorgt bij het dooven ook voor een voldoend snel afkoelen van het oppervlak, zoodra de ontladingsstroom neiging vertoont te verminderen. In dit verband zij er nog aan herinnerd, dat bij stootvormige ontladingen de momentane waarden van de stroom wel 1000 tot 100 000 maal zoo groot kunnen worden, teneinde eenzelfde electrodetemperatuur te veroorzaken als aan tak $F\,G$ in fig. 9 ten grondslag ligt, daar deze figuur op het statische geval betrekking heeft.

Door de ingebouwde voorschakelweerstand R_v wordt het regelmatige dooven ook in de hand gewerkt, aangezien voldoende weerstand in de kring het aangroeien van een groote continue ontladingsstroom als gevolg van de netspanning onmogelijk maakt. Een dergelijke weerstand zou echter eveneens de overspanningsstroomstoot, die men door wil laten, kunnen hinderen, aangezien deze tot een hooger bedrag moet kunnen stijgen dan toelaatbaar is voor de continue stroom. De genoemde bezwaren kunnen echter worden voorkomen door de weerstand R_v te vervaardigen van een materiaal, welks soortelijke weerstand bij toenemende spanning sterk daalt. Bij hooge spanning is de weerstand van R_v belangrijk lager dan bij lage spanning.

Op deze wijze is bij de Philips overspanningsafleider voldaan zoowèl aan de eisch van snel doorslaan bij overspanning als aan de eisch van snel dooven bij terugkeeren tot de bedrijfsspanning.

Tenslotte willen wij nu nog eenige resultaten vemelden van door de Kema voor ons uitgevoerde metingen betreffende het gedrag van de spanningsafleider ten opzichte van loopende golven. Een spanningsgolf met een frontsteilheid van 30 kV per microsec en een ruglengte van 100 microsec wordt door een afleider naar de aarde gevoerd. De stroomspanningskarakteristiek is voor beide poolrichtingen opgenomen (*fig. 10a* en *b*) met een stroomstoot van 300 A. Verder is het verloop van stroom en spanning in de oscillogrammen van *fig. 11a* en *b* te zien. Hieruit blijkt, dat de overspanningsafleider zoo snel en zoo laag ontsteekt en daardoor de spanningsgolf zoo sterk onderdrukt, dat zij zelfs in zeer zwak geïsoleerde electrische installaties met stelligheid doorslag zal voorkomen.

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

STAALSOORTEN VOOR PERMANENTE MAGNETEN

door J. L. SNOEK.

Samenvatting. De belangrijkste eigenschappen van een magneetstaal zijn de remanentie en de coërcitiefkracht. In dit artikel wordt uiteengezet, hoe volgens de tegenwoordige opvattingen deze grootheden samenhangen met de samenstelling en de structuur van het materiaal.

Inleiding

Boven de electromagneten bezitten de permanente magneten het belangrijke voordeel, dat voor de handhaving van het magneetveld geen aparte energiebron noodig is. In voorkomende gevallen, waar een constant magneetveld in een bepaalde ruimte en van gegeven sterkte gevraagd wordt (zooals in luidsprekers, gramofoonafnemers, bandmicrofoons, kleine dynamo's, meetinstrumenten), zal men dus gaarne de voorkeur geven aan een permanente magneet boven een electromagneet, indien dit zonder verhooging van kosten en gewicht mogelijk is.

Tengevolge van de sterk verbeterde magnetische eigenschappen der moderne magneetstaalsoorten zijn de gebruiksmogelijkheden zeer toegenomen, zoodat de constructeur voor nieuwe problemen is geplaatst. Het is onze bedoeling om in dit artikel iets over de ontwikkeling van het materiaal te zeggen, onder gebruikmaking van wat de theorie hierover weet.

Grondbegrippen van de ferromagnetische hysteresis[1])

In *fig. 1* is ter herinnering de hysteresiskromme

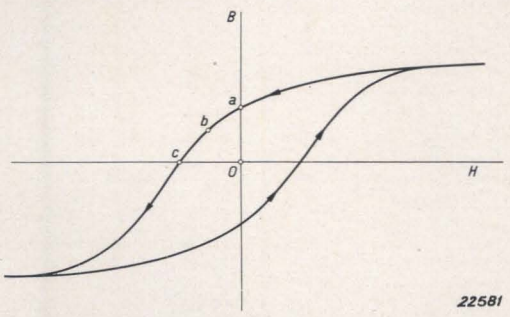


Fig. 1. Hysteresiskromme; $a0$ is de remanentie; $c0$ is de coërcitiefkracht.

van een normaal ferromagnetisch materiaal geteekend. Deze is in de eerste plaats gekarakteriseerd door het feit, dat de magnetisatie in sterke magneetvelden weinig of niet meer toeneemt, m.a.w., dat in velden van de orde van 1000 oersted een magnetische verzadiging optreedt. De grootte van deze verzadiging zal ons voor het vervolg interesseeren, omdat zal blijken, dat de restinductie of remanentie, welke na het afzetten van het magneetveld overblijft, meestal ongeveer de helft bedraagt van de magnetische verzadiging. Waar nu een hooge remanentie ten zeerste gewenscht is voor de goede werking van het staal, is het dus van belang om naar legeeringen te zoeken, welke door een hooge magnetische verzadiging gekarakteriseerd zijn.

Legt men nu een magneetveld in de tegengestelde richting aan en laat dit steeds toenemen, dan neemt de magnetisatie af volgens de kromme *a b c*, welke om die reden de „ontmagnetiseeringskromme" wordt genoemd, om tenslotte in het punt *c* gelijk aan nul te worden. De veldsterkte, waarbij dit punt bereikt wordt, heet de coërcitiefkracht van het materiaal en kan beschouwd worden als een maat voor de sterkte van de hysteresis.

Voor practische toepassingen zijn niet alleen de remanentie en de coërcitiefkracht belangrijk, maar ook de vorm van de ontmagnetiseeringskromme. Deze moet nl. zoodanig zijn, dat het product van de restinductie en het ontmagnetiseerende tegenveld zoo groot als mogelijk kan worden. Daar echter de vorm van de ontmagnetiseeringscurve, indien men ze op gelijke waarden van remanentie en coërcitiefkracht reduceert, voor alle magneetstalen ongeveer dezelfde blijkt te zijn [2]), althans, indien gietfouten en inhomogeniteiten vermeden worden, wordt het magnetisch gedrag van een magneetstaal in eerste benadering volkomen bepaald door de grootte van de magnetische verzadiging en van de coërcitiefkracht. De factoren, die deze beide groot-

[1]) Voor een nadere toelichting van allerlei feiten, die in dit artikel slechts kort aangeduid kunnen worden, verwijzen wij de belangstellende lezer naar het handboek van W. S. Messkin en A. Kußmann: Die ferromagnetischen Legierungen (Berlin 1932), in het volgende geciteerd als M.K.

[2]) In dit opzicht staan de magneetstalen in scherpe tegenstelling tot de magnetisch weekere materialen, waar zeer belangrijke afwijkingen mogelijk zijn. De theoretische grond voor deze tegenstelling is, dat inwendige spanningen van een dergelijk speciaal karakter, als bijv. bij gewalst nikkelijzerband kunnen voorkomen (Philips techn. T. **2**, 77, 1937), bij magneetstalen uit hoofde van hun ontstaanswijze niet te verwachten zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

heden beinvloeden, zullen hier gescheiden worden behandeld.

De magnetische verzadiging

In het begin dezer eeuw verkeerde men omtrent de ware aard van de dragers van het ferromagnetisme nog volkomen in het onzekere. Wel had men redenen om aan te nemen, dat bij een magnetische substantie de atomen zelf als elementaire magneetjes moeten worden beschouwd. In het algemeen zullen deze magneetjes tengevolge van de warmtebeweging willekeurig georiënteerd zijn en eerst bij aanwezigheid van een uitwendig magneetveld zal zich een zekere voorkeur voor een oriëntatie in de veldrichting instellen, zoodat het magnetisme macroscopisch waarneembaar wordt.

Deze theorie verklaart heel goed het gedrag van de zg. paramagnetische stoffen. Daarentegen kon langs deze weg oorspronkelijk geen verklaring worden geven voor het gedrag van ferromagnetische stoffen, welke zich hierdoor van paramagnetische stoffen onderscheiden, dat een bepaalde, sterke magnetisatie met veel kleinere veldsterkten mogelijk is en dat na het afschakelen van het veld een zekere restinductie overblijft.

Het was Pierre Weiss, die begreep, dat het ter verklaring van het ferromagnetisme noodzakelijk was om aan te nemen, dat er tusschen de elementaire magneetjes in bijzondere gevallen een zeer sterke wisselwerking kan bestaan, die er naar streeft, ze onderling evenwijdig te richten. Volgens Weiss is het bestaan van deze sterke koppeling tusschen de elementaire magneetjes onderling het eenige, wat een ferromagnetische substantie onderscheidt van een paramagnetische. Deze wisselwerkingskrachten zijn zoo sterk, dat het materiaal steeds spontaan verzadigd is. Om te verklaren, dat een ferromagnetisch materiaal toch heel goed onmagnetisch kan zijn, nam Weiss een verdeeling van het materiaal in zg. elementaire gebieden aan, waarbinnen de richting van de (spontane) magnetisatie volkomen onafhankelijk zou zijn van het naburige gebied.

Heden weten wij, dat de dragers van het elementaire magnetisme van het atoom electronen zijn, die door de bijzondere aard van hun binding in het atoom hiertoe voorbestemd zijn. Op grond van dit inzicht en de moderne electronentheorie is het (in de eerste plaats Heisenberg en Bloch) gelukt, het beeld van Weiss in hoofdzaak te bevestigen en daarbij belangrijk te verscherpen.

Het bleek nl. dat voor de wisselwerking, welke Weiss postuleerde, een theoretische verklaring kon worden gevonden en verder, dat deze werking zich slechts over uiterst kleine afstanden doet gelden. Om belangrijke afwijkingen van de evenwijdigheid tusschen twee naburige magneetjes totstand te brengen, zou dus veel energie zoodig zijn, zoodat groote afwijkingen tusschen buren niet veel voorkomen. Over groote afstanden is de koppeling echter zoo zwak, dat zij onwerkzaam is.

Een zwak magneetveld zal reeds voldoende zijn om over de geheele linie een gelijkmatige parallelstelling teweeg te brengen, waarbij echter de temperatuur als storende factor blijft werken, welke zich destemeer doet gelden, naarmate de wisselwerkingskrachten zwakker zijn [3]).

Inderdaad blijkt het mogelijk, het verloop van de verzadiging in verschillende legeeringsreeksen als functie van de samenstelling kwalitatief te begrijpen met behulp van bovenstaand beeld.

In het algemeen verloopt de verzadiging in een mengkristalreeks van twee ferromagnetische elementen in eerste benadering lineair met de concentratie. Waar groote afwijkingen van deze regel voorkomen (zooals bijv. in de nikkelijzerreeks, zie M.K. blz. 125), kan men deze afwijking verklaren uit het feit, dat de wisselwerking tusschen de elementaire magneetjes bij een bepaalde concentratie zoo zwak is, dat de temperatuurbeweging de overhand heeft verkregen. Dit constateert men daaraan, dat het Curiepunt sterk gedaald is.

Ook andere gevallen, waarbij een sterke invloed van de warmtebehandeling op de magnetische verzadiging werd vastgesteld (nikkelmangaan, zie M.K. blz. 134), laten zich terugvoeren op wijzigingen in de wisselwerking tengevolge van een gewijzigde rangschikking der atomen.

Bij toevoegen van een onmagnetisch materiaal neemt de wisselwerking gewoonlijk zeer snel af.

Het is in overeenstemming hiermee gebleken, dat men bij het zoeken naar materialen met hooge verzadiging aangewezen is op mengkristallen van de drie ferromagnetische elementen, ijzer, cobalt en nikkel met geringe toevoegingen van andere elementen.

Inderdaad bezitten alle praktisch bruikbare legeeringen de drie elementen in overmaat; weliswaar zijn zeer hooge coërcitiefkrachten gevonden bij ijzerarme en zelfs bij ijzervrije legeeringen (bijv. de Heuslersche legeeringen, zie M.K. blz. 141 - 146), maar de geringe waarde van de remanentie maakt het nut hiervan illusoir.

---

[3]) De sterkte van de wisselwerking kan men bepalen door de kritische temperatuur (het zg. Curiepunt) te meten, waarboven het ferromagnetisme verdwijnt om plaats te maken voor een normaal paramagnetisme.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Om dezelfde redenen zijn ook allerlei ijzerverbindingen, in hoofdzaak oxydmengels, die met het magnetiet (Fe_3O_4) isomorf zijn, onbruikbaar en zullen hier niet nader besproken worden.

De coërcitiefkracht

Om de factoren te kennen, die de coërcitiefkracht beinvloeden, is het noodig om iets dieper in te gaan op de theorie. Vroeger zocht men de eigenlijke oorzaak van het magnetisme in het feit, kende men twee mogelijke oorzaken voor het para- en ferromagnetisme.

Uit verdere proeven is gebleken, dat in vrijwel alle gevallen alleen de laatste oorzaak voor de magnetische verschijnselen verantwoordelijk is. De werking der kringstroomen naar buiten wordt

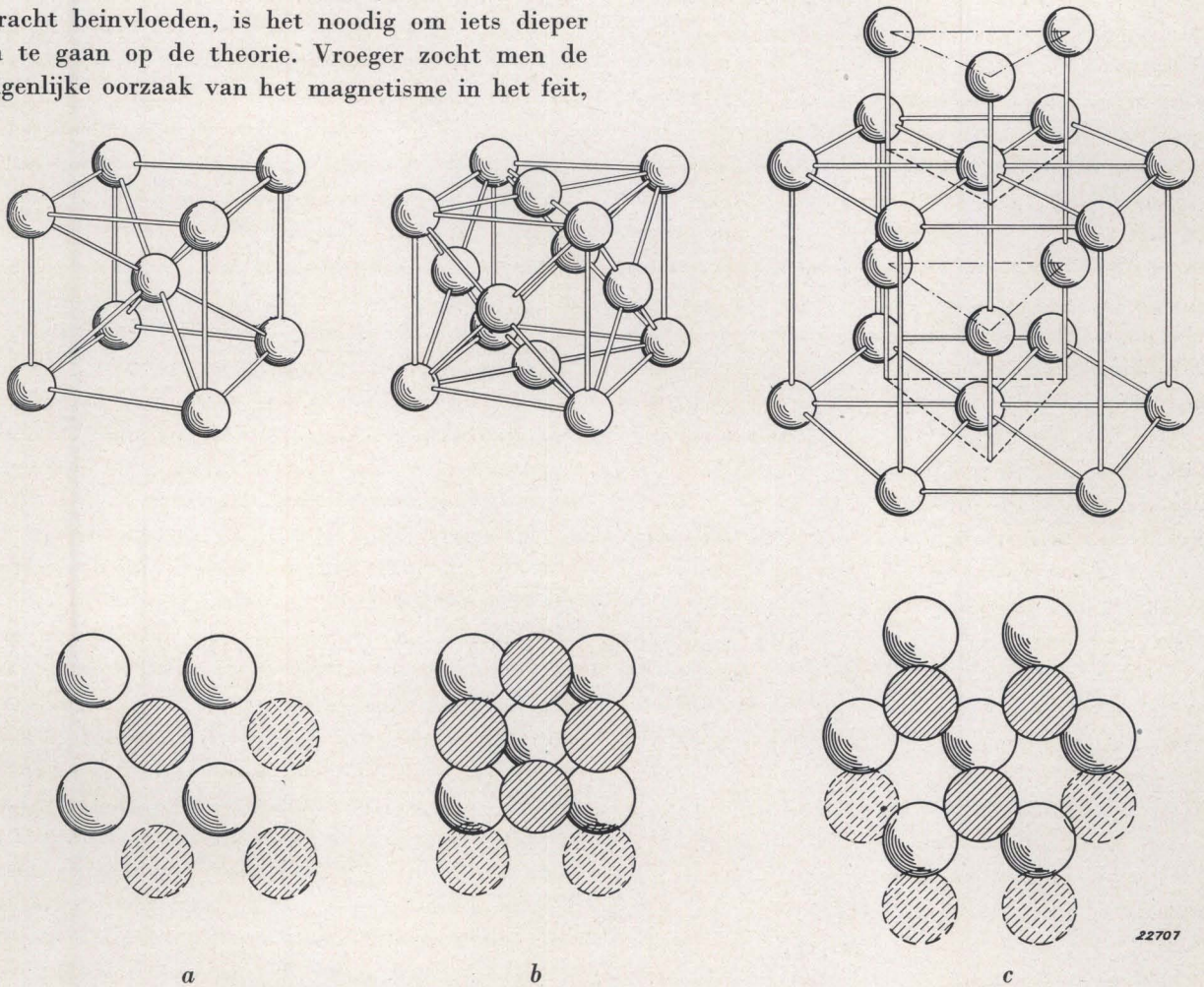


Fig. 2. Rangschikking der atomen:
a) in een kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster (α-structuur),
b) in een kubisch vlak gecentreerd rooster (γ-structuur),
c) in een hexagonaal rooster.
De bovenaanzichten onder de figuren laten de onderste twee atoomlagen zien (de tweede is gearceerd). De derde komt dan overeen met de eerste, de vierde met de tweede, enz. De tweede atoomlaag is gestippeld voortgezet om aan te toonen, dat ze met de eerste overeenkomt, wat de onderlinge rangschikking der atomen betreft.

dat de electronen met groote snelheid in bepaalde vlakke banen om de kern liepen. Deze „kringstroomen" veroorzaken dan een magnetisch veld volgens de bekende wetten. De hoofdreden, waarom men dit aannam, was, dat men geen andere oorzaak kende. Uit spectrale onderzoekingen kwan echter vast te staan, dat het electron zelf ook reeds een magnetisch moment bezit. Als men wil, kan men zich dit zoo voorstellen, dat de electriciteit in het electron zelf nog met groote snelheid om een bepaalde as circuleert. Vanaf dit moment daardoor gecompenseerd, dat er juist evenveel electronen linksom als rechtsom loopen. Voor het eigen magnetische moment der electronen geldt nu tot op zekere hoogte hetzelfde; ook hier staan een groot deel der asrichtingen van de verschillende electronen tegengesteld gericht. Een klein aantal electronen (1 of 2 per atoom) ontsnapt echter aan deze beperking en het zijn juist deze electronen met hun eigen magnetisch moment, welker eigenschappen wij moeten bestudeeren. De asrichtingen van de magnetische momenten zijn in het algemeen gemakkelijk

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

draaibaar. Het blijkt echter, dat deze vrijheid in vele gevallen door allerlei factoren beperkt is.

Wij spraken er reeds van, dat de magneetjes in een ferromagnetisch materiaal elkaar dusdanig beinvloeden, dat naburige magneetjes zich evenwijdig wenschen te stellen. De gemeenschappelijke asrichting zou dan nog vrij kunnen draaien en het zal duidelijk zijn, dat ter verklaring van de coërcitiefkracht nog extra-krachten in aanmerking genomen moeten worden. Deze krachten bestaan in een wisselwerking met het ionenrooster, dat als het ware het vaste raam vormt, waaruit het materiaal is opgebouwd. Tengevolge van deze wisselwerking bestaan voor de gemeenschappelijke as der eigenmomenten voorkeursrichtingen in het kristal en men heeft een zekere energie, de zg. kristalenergie, noodig om de magnetisatie uit een voorkeursrichting in een ongunstige richting te draaien. Deze krachten kunnen wij niet vooruit berekenen.

Het zal echter na het voorafgaande wel plausibel zijn, dat de aard van deze krachten sterk beinvloed blijkt te worden door de vorm van het ionenrooster. De drie belangrijkste roostervormen van ferromagnetische metalen zijn in *fig. 2* weergegeven. In die gevallen, waarin deze opbouw een sterke asymmetrie vertoont, zooals *c* in fig. 2, blijken de „eigenmomenten" sterk gebonden te zijn aan een bepaalde richting. Als een voorbeeld hiervoor is in *fig. 3* de magnetiseeringskromme van het

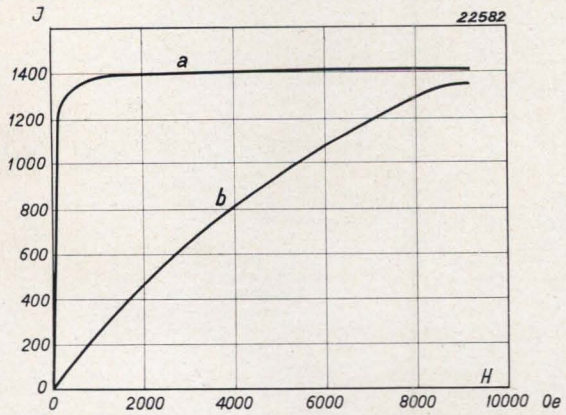


Fig. 3. Magnetiseeringscurve van cobalt, a) in de richting van de hexagonale as, b) in een richting loodrecht daarop. In het laatste geval is voor het bereiken van de verzadiging een aanzienlijke veldsterkte noodig.

hexagonale cobalt weergegeven en wel de kromme *a* voor magnetisatie in de richting van de hexagonale as en de kromme *b* loodrecht daarop. Blijkbaar zoeken de eigenmomenten uit zichzelf de richting van de hexagonale as op, want men heeft een zeer groote veldsterkte noodig om loodrecht daarop de magnetische verzadiging te bereiken. In die gevallen, waar de symmetrie een hoogere is, bijv. voor kubische kristallen (nikkel, ijzer), is de koppeling veel minder sterk en dit is begrijpelijk indien men bedenkt, dat de drie hoofdrichtingen uit hoofde van de symmetrie gelijkwaardig moeten zijn.

Nu hebben de meeste ferromagnetische legeeringen kubische symmetrie en men moet, om de bindingskracht aan het ionenrooster te vergrooten, allereerst deze hooge symmetrie ongedaan maken. Dit kan men gemakkelijk bereiken door het materiaal eenzijdig onder druk of rek te plaatsen. Inderdaad ziet men dan vrijwel zonder uitzondering sterke bindingskrachten ontstaan, welke zich daardoor uiten, dat het magnetisatieproces volgens de hoofdrichting van de deformatie geheel anders verloopt dan loodrecht daarop.

Sommige materialen, bijv. nikkel, gedragen zich onder druk als cobalt, nl. zoo, dat de eigenmomenten met voorkeur evenwijdig aan de hoofdrichting liggen, andere, bijv. ijzer, juist zoo, dat zij zich loodrecht op de hoofdrichting plaatsen. Vervangt men de druk door rek, dan ziet men juist het omgekeerde gebeuren. Hier ziet men dus een mogelijkheid om door uitwendige krachten de ligging der elementaire magneetjes en de binding aan het ionenrooster te beinvloeden.

Helaas blijkt nu echter, dat de aanwezigheid van voorkeursinstellingen der magnetisatie nog niet voldoende is voor het verkrijgen van een groote coërcitiefkracht. De hysteresislus van een cobalteénkristal is bijv. zoo smal, dat ze in fig. 3 niet geteekend kon worden. Indien men nikkel onder druk of ijzer onder rek onderzoekt, zal men in het algemeen hetzelfde vinden. Deze mislukking hangt waarschijnlijk daarmee samen, dat in een materiaal, dat volgens een bepaalde richting gemagnetiseerd is, altijd kiemen aanwezig zijn van de tegengestelde oriëntatie. Aan de hand van het in *fig. 4* weergegeven model willen wij de gevolgen hiervan nader beschouwen.

Wij veronderstellen, dat het materiaal hoofdzakelijk in de richting *A* gemagnetiseerd is, die gelijktijdig een voorkeursrichting in het kristal moge zijn. Het gebied met de oriëntatie *B* is een kiem, waarin de magnetisatie tegengesteld is en, wat betreft de kristalenergie even gunstig als *A*. Tusschen deze twee gebieden zal een geleidelijke overgang plaats vinden, zooals in fig. 4 aangeduid is.

Wij zien nu, dat het, niettegenstaande de kristalenergie, in het geheel geen energie behoeft te kosten om de magnetisatietoestand van het in fig. 4 weergegeven model te wijzigen, door nl. kiem *B* te doen groeien ten koste van het gebied *A*. Hierbij worden weliswaar links van de overgangslaag magnetische eigenmomenten uit een gunstige in een ongunstige

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

stand gedraaid, maar er gaan er rechts van de laag evenveel van een ongunstige in een gunstige stand over.

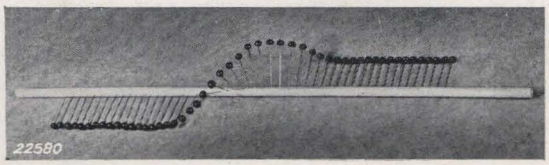


Fig. 4. Dit model duidt aan, hoe de magnetisatie tusschen twee gebieden met tegengestelde oriëntatie van het magnetisme geleidelijk zal veranderen. Door de overgangslaag te verschuiven, kan de magnetisatie *A* gemakkelijk worden overgevoerd in *B*.

Bij een kristalrooster is de zaak ingewikkelder dan in het boven geschetste model en zal de coërcitiefkracht afhangen van de vorm van de aanwezige kiemen. Ook hier zal echter de voor het groeien van de kiemen benoodigde veldsterkte aanzienlijk kleiner zijn dan die, welke bij afwezigheid van kiemen noodig zou zijn om de magnetisatierichting om te klappen.

Voor het verkrijgen van een hooge coërcitiefkracht is het dus, naast het scheppen van magnetische voorkeursrichtingen, noodig het groeien van de kiemen tegen te gaan. Dit kan, zooals experimenteel gebleken is, gebeuren door richting en grootte van de spanningen plaatselijk sterk te varieeren.

Deze onregelmatige spanningen zijn in een technisch materiaal, tengevolge van de aanwezigheid van „storende" (d.w.z. onoplosbare) verontreinigingen, steeds aanwezig. Dat is dan ook de reden, waarom een lage coërcitiefkracht aan ijzer eerst kon worden gerealiseerd, nadat men er in geslaagd was, dit in zeer zuivere toestand te maken. Anderzijds zijn toevoegingen, welke oplosbaar zijn, d.w.z. mengkristallen met het ijzer vormen, volstrekt onwerkzaam: in de nikkelijzerreeks komen zeer lage coërcitiefkrachten voor. Bij de vraag hoe men nu in het ijzer door het opzettelijk aanbrengen van storende verontreinigingen zooveel mogelijk spanningen kan laten ontstaan, doet zich nu het antwoord vanzelf voor: men moet trachten, in de smelt zooveel mogelijk van het „vreemde" element op te lossen; daarbij vindt een gelijkmatige verdeeling over het geheele volume plaats. Bij afkoelen zal dan ontmenging optreden en al naar gelang men deze afkoeling regelt, zal de spanningstoestand van de legeering zoo geregeld kunnen worden, dat men de maximale coërcitiefkracht bereikt.

Om te laten zien, hoe scherp de coërcitiefkracht op ontmenging reageert, geven wij in *fig. 5* de resultaten van een onderzoek naar het gedrag van snel gekoelde mengsels van ijzeroxyd (Fe_3O_4) met mangaanoxyd (Mn_3O_4) weer [4]). Bij een bepaalde grensconcentratie ziet men de coërcitiefkracht

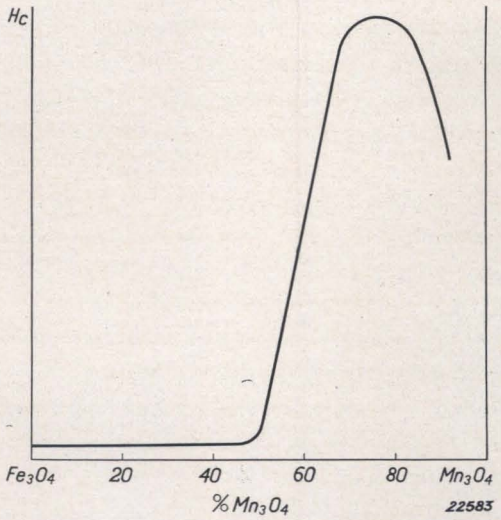


Fig. 5. Verloop van de coërcitiefkracht in snel gekoelde mengsels van Fe_3O_4 en Mn_3O_4. Bij hooge temperatuur is de mengkristalvorming volledig. Tijdens het afkoelen treedt echter een geringe ontmenging op, welke scherp door de coërcitiefkracht wordt weergegeven. Mn_3O_4 zelf is onmagnetisch.

steil oploopen; hier treedt dus blijkbaar tijdens het koelen ontmenging op.

Overzicht van de magneetstalen. De oxydmagneet

De oudst bekende permanente magneet, het „magneetijzersteen", dat in groote hoeveelheden in de natuur aangetroffen wordt, is een oxydmagneet van het type, zooals wij zooeven aangeduid hebben. Coërcitiefkracht en vooral remanentie van deze magneten, zijn volgens onze huidige begrippen zeer slecht. In de laatste tijd is de oxydmagneet meer systematisch bestudeerd, waarbij hoogere coërcitiefkrachten verkregen zijn; echter blijft de lage remanentie een onoverkomelijk bezwaar.

Martensitische staalsoorten

De eerste kunstmatige permanente magneten ontstonden uit de practijk van de staalharding. Naast het ongelegeerde koolstofstaal onderscheidt men hierbij, al naar gelang het hoofdlegeeringselement, dat hierbij een rol speelt, achtereenvolgens de chroomstalen, de wolfraamstalen en de cobaltstalen. Een overzicht van de prestaties van deze magneten (beoordeeld naar hun beste vertegenwoordigers) vindt men aan het slot in de tabel. Het cobaltstaal spant verreweg de kroon. De hooge prijs van het cobalt vormde echter een tijdlang een beletsel voor de algemeene invoering.

---

[4]) J. L. Snoek, Physica **3**, 463, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Het mechanisme van de staalharding beantwoordt, zooals bekend, niet aan de eenvoudige beschrijving, die wij hierboven gaven. Weliswaar maakt men gebruik van het feit, dat koolstof, de eigenlijke veroorzaker van de harding, bij hooge temperatuur beter oplost dan bij lage, doch dit hangt vooral daarmee samen, dat het ijzer bij hooge temperatuur een andere kristalstructuur, bekend onder de naam austeniet of γ-structuur, heeft, welke bij lage temperatuur overgaat in de ferrietische of α-structuur (zie fig. 2). Is nu koolstof in overmaat aanwezig en geschiedt de koeling snel genoeg, dan vormt zich een overgangsstructuur, martensiet, welke een groote mechanische en magnetische hardheid bezit. Bij de moderne staalsoorten voor permanente magneten heeft men zich echter losgemaakt van het koolstof als legeeringselement en speelt het martensiet dus geen rol.

Niet-martensitische staalsoorten

Onder deze kan men nog twee groepen onderscheiden. Bij de eerste soort scheidt een metaal als titaan, wolfraam of molybdeen zich uit de grondmassa in de vorm van een verbinding af. De beste resultaten bereikt men met molybdeen, opgelost in een ijzercobaltlegeering. Voor deze soort van legeering gaat de boven beschreven omschrijving van de harding precies op. Uitvoerige proeven hebben aangetoond, dat in dit geval de stijging in de coërcitiefkracht tegelijk begint met de ontmenging en dat deze laatste dus rechtstreeks verantwoordelijk gesteld moet worden voor de harding.

Bij de tweede groep, die de technisch belangrijker is, is het mechanisme eenigszins anders. Bij de ontmenging treedt niet onmiddellijk een verbinding uit de grondmassa welke hier een α-structuur heeft, doch stelt zich veeleer een evenwicht in tusschen de bovengenoemde α-phase en de bij afkoeling gevormde γ-phase [5]). Tengevolge van de zeer verschillende samenstelling van deze beide phasen is de scheiding van het homogene materiaal in twee phasen verbonden met een uitwisseling van materiaal tusschen de gebieden waar een α-phase blijft bestaan en de gebieden waar een γ-phase ontstaat. Aan de ontmenging gaat dus een diffusieproces vooraf, waardoor het metaal plaatselijk sterk wisselende samenstelling krijgt, alvorens er van de vorming van de γ-phase sprake is. Dit voorbereidende proces (dat dus wel essentieel gebonden is aan het bestaan van een oververzadigde oplossing), is de eigenlijke oorzaak van de magnetische harding [6]).

Het is waarschijnlijk geen toeval, dat juist met deze staalsoorten (o.a. Ni-Al en Ni-Al-Co-Ti-legeeringen) de beste resultaten bereikt worden. Zooals wij hierboven uiteengezet hebben, is het uiteindelijke doel een zoo sterk mogelijke deformatie van het metaal. Hierbij wordt in het algemeen de elasticiteitsgrens bereikt. Bij een ruwe methode, waarbij discontinue overgangen plaats grijpen, wordt het verband tusschen de deeltjes onderling zoodanig gestoord, dat tegelijkertijd een gedeeltelijk herstel optreedt. Speciaal voor de overgang van de α-phase naar de γ-phase is aangetoond, dat daarbij een toestand wordt gepasseerd, waarbij het metaal mechanisch zeer zwak is. Geheel in overeenstemming daarmede is de waarneming, dat het beginnen van deze overgang bij het ijzer-nikkel-aluminiumstaal niet samenvalt met een stijging in de coërcitiefkracht, doch integendeel het sein is voor een vrij plotseling intredende daling, die waarschijnlijk verband houdt met een gedeeltelijk „afglijden" van het materiaal. Bij het aan het afglijden voorafgaande diffusieproces daarentegen worden de spanningen als het ware steentje voor steentje opgebouwd en gaat het verband tusschen de atomen geen oogenblik verloren.

Tenslotte geven wij in het onderstaande tabel een overzicht van de magnetische eigenschappen der meest belangrijke staalsoorten.

Tabel I.

Materiaal	Remanentie	Coërcitiefkracht
	Gauss	Oersted
Koolstofstaal (ongelegeerd) . .	9000 - 8000	50 - 60
Wolfraamstaal	12000 - 11000	56 - 67
Chroomstaal	10800 - 9700	58 - 66
Wolfraamchroomstaal	11000	76
Cobaltstaal	9000	300
Ni-Al-staal	6000 - 5000	400 - 600
Co-Ni-Al-Ti-staal	8000 - 6000	600 - 900

[5]) W. G. Burgers en J. L. Snoek, Physica **2**, 1064, 1935.

[6]) Voor het bekende metaal duraluminium, dat op analoge wijze mechanisch gehard wordt, is hetzelfde geconstateerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OPENBARE VERLICHTING.
TECHNISCHE GEZICHTSPUNTEN BETREFFENDE WEGVERLICHTING

door G. B. VAN DE WERFHORST.

Samenvatting. In dit artikel wordt de maatstaf ter beoordeeling eener wegverlichting besproken, vroeger de verlichtingssterkte gemeten in het horizontale vlak, daarna de helderheid van het wegdek, thans het contrast van object en achtergrond. De reflectie-coëfficienten van object en achtergrond, de betrekkelijke waarde der spiegelende reflectie van het wegdek, de noodzakelijke afscherming der lichtuitstraling in verband met verblinding en de invloed van de uitgebreidheid van het stralend oppervlak van de lichtbronlantaarn worden behandeld.

Onder wegverlichting verstaan wij de verlichting van de verkeersweg buiten de bebouwde kommen. De grondslagen, waarop men zich moet baseeren bij het projecteeren van een nieuwe, alsook bij het beoordeelen van een bestaande verlichting, hebben wij in een vorig artikel besproken [1]).

Deze bespreking kan als volgt worden samengevat. De vaste verlichting, die voor elke primaire en voor sommige secundaire verkeerswegen in het algemeen belang in aanmerking komt, moet tot zulk een visueele waarneming in staat stellen, dat een verkeer volgens redelijke eischen van veiligheid mogelijk is.

Een verkeerssnelheid van 80 km/uur moet hierbij redelijk toelaatbaar zijn. Aesthetische overwegingen wat de kleur van het licht betreft, spelen geen rol. Storende invloeden van buiten de weg gelegen verlichting dient men te elimineeren.

De autobestuurder moet op afstanden grooter dan 300 m, indien zich daar een object voordoet, onmiddellijk kunnen waarnemen, dat er iets is op de weg. Binnen die afstand moet hij ook kunnen onderscheiden, wat dit iets is. Bovendien moet hij van objecten, die binnen die afstand van terzijde naderen, zulk een perifere prikkel ontvangen, dat hij hierop direct reageert. Waarnemingssnelheid en herkennen van het waargenomen object zijn hier derhalve zeer belangrijk. Het mede verlichten van wegbermen en van de langs de weg gelegen strooken is essentieel voor goede waarneming.

Wel verre van zich te baseeren op deze grondslagen, beoordeelde men tot voor eenige jaren de verlichting van een weg uitsluitend naar de hoeveelheid licht, die op het wegoppervlak viel, horizontaal gemeten (de horizontale verlichtingssterkte in lux). Het is duidelijk, dat dit een eenzijdige en foutieve maatstaf was, aangezien wij nimmer het licht zien, dat op een verlicht vlak of voorwerp valt, doch slechts het licht, dat door dit vlak in ons oog wordt weerkaatst. Wij zien de helderheid van het verlichte vlak en niet de verlichtingssterkte op het vlak. Daarom is in de laatste jaren dan ook een grootere aandacht geschonken aan de helderheid van de weg en heeft men er naar gestreefd, deze helderheid op te voeren. In verband hiermede werd o.a. door Cohu een studie gemaakt van de reflectie-eigenschappen van het wegdek [2]), teneinde uit de verlichtingssterkte de door den weggebruiker geziene helderheid te kunnen bepalen. Aan het verhoogen van de helderheid van het wegdek en aan het bepalen van deze helderheid werd speciale aandacht geschonken door Paterson, Waldram, e.a. [3]). We moeten echter wel bedenken, dat de waarnemingsmogelijkheid, die door de eisch van veilig verkeer wordt gevraagd, niet alleen door de helderheid van het wegdek wordt bepaald. Voor waarneming is contrast noodig, contrast van het object tegen zijn achtergrond. Wij zullen in hetgeen volgt dit contrast vastleggen als de verhouding van twee helderheden, de eene — bijv. die van het wegdek — grooter dan de andere — die van het object —. Doch deze verhouding beteekent voor onze waarneming geen constante, omdat onze oogen bij verschillende helderheidsniveaux niet even contrastgevoelig zijn. Bij de lagere helderheidsniveaux zijn we minder contrastgevoelig en kunnen wij dus slechts relatief grootere contrasten onderscheiden [4]). Aangezien wij terwille der economie gedwongen zijn, bij wegverlichting de lagere helderheidsniveaux toe te passen, moeten we rekening houden met de onder deze omstandigheden zwakkere contrast-gevoeligheid van het oog. We zijn er dus op aangewezen, de voorhanden reflectie-eigenschappen van de weg en

[1]) Philips techn. T. **2**, 110, 1937.

[2]) M. Cohu; Revue Générale de l'Electricité, **37**, 755 - 767, 1935.

[3]) C. C. Paterson, Modern Street Lighting, J. Record Trans., no. 4, 1935. J. M. Waldram, Road surface reflection, Ill. Eng. **27**, 305 - 313 en 339 - 351, 1934; **28**, 34, 1935.

[4]) Zie o.a. P. J. Bouma, Philips techn. T. **1**, 166, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

hetgeen er zich op bevindt, zooveel mogelijk uit te buiten, opdat de grootst mogelijke contrasten ontstaan [5]). Verder moeten we zorgen, dat deze, toch reeds lage, contrastgevoeligheid van het oog niet door storende invloeden, zooals verblindende lichtbronnen, nog verder wordt gereduceerd.

Over de reflectie-eigenschappen van de weg (inclusief bermen en naast gelegen strooken) en van de zich op de weg bevindende objecten kunnen we slechts in grove trekken spreken, omdat er zich zoo'n ver uiteenloopende variatie voordoet.

Allereerst zij opgemerkt, dat een verlicht vlak of voorwerp nimmer al het opvallende licht weerkaatst; steeds wordt een kleiner of grooter gedeelte van dit opvallende licht geabsorbeerd; het gedeelte echter, dat weerkaatst wordt, kan op zeer verschillende wijzen worden gereflecteerd.

Om ons dit goed te realiseeren, moeten we een oogenblik nader stilstaan bij deze reflectie.

Zooals bekend, onderscheidt men diffuse reflectie en spiegelende reflectie. Een vlakje met diffuse reflectie, dat verlicht wordt, weerkaatst dit licht op een regelmatige wijze naar alle kanten, onafhankelijk van de richting van het opvallende licht, en wel zoodanig, dat wij dit vlakje van welke kant ook steeds even helder zien; zooals bijv. een dof gestucadoord plafond of een dof vel wit teekenpapier, ook een stuk dof grauw papier, dat echter een veel kleiner deel van het opvallende licht weerkaatst. Hoé helder wij bij diffuse reflectie het verlichte vlak zien, is o.a. afhankelijk van de hoeveelheid licht, die er op valt en derhalve afhankelijk van de afstand tusschen lichtbron en verlicht vlak; de helderheid blijft steeds veel kleiner dan de helderheid van de lichtbron.

Een vlakje met spiegelende reflectie, dat verlicht wordt, weerkaatst dit licht uitsluitend in één bepaalde richting, afhankelijk van de richting van het opvallende licht. Kijken wij naar dat vlak en bevinden we ons juist in de richting der weerkaatste lichtstralen, dan zien wij in het vlakje het spiegelbeeld van de lichtbron. Aangezien bij zulk een spiegel het absorptieverlies gering is, zien wij op die plaats een helderheid, bijna gelijk aan de helderheid van de lichtbron, onafhankelijk van de afstand tusschen lichtbron en verlicht vlak. Bevinden we ons buiten de weerkaatste lichtstralen, dan blijft het vlak voor ons donker, hoeveel licht er ook op valt.

[5]) Waar in dit artikel sprake is van contrast, is voorloopig slechts gedacht aan het contrast, zooals wij dit waarnemen bij verlichting met z.g. „wit licht" (lichtbronnen met continu spectrum: zon, gaslicht, gloeilamp, enz.).

Voorbeelden zijn een zuivere spiegel, stilstaand wateroppervlak.

Deze „volkomen diffuse" reflectie en volkomen spiegelende" reflectie zijn twee uitersten, die blijkbaar bijna in elk opzicht elkaars tegendeel vormen. Nu wordt zoo dikwijls de fout gemaakt, dat in het praktijkgeval of het eene of het andere uiterste als eenige maatstaf wordt aangelegd. In de werkelijkheid evenwel komen voorwerpen en vlakken, die aan deze uitersten van reflectie beantwoorden (of nagenoeg beantwoorden) slechts bij uitzondering voor. Bij zeer vele voorwerpen en vlakken zijn diffuse reflectie en spiegelende reflectie gecombineerd. Vaak overheerscht dan een van beiden. Zoo geeft bijv. gewoon glad papier voornamelijk diffuse reflectie, doch het gladde oppervlak doet tegelijk spiegelende reflectie ontstaan. Een licht bestoven spiegel geeft voornamelijk spiegelende reflectie; doch van de stofdeeltjes op het spiegelvlak komt een aandeel diffuse reflectie.

In deze gevallen is het reflecteerende vlak, wat zijn reflectie betreft, grof bezien homogeen. Er zijn echter veel practische gevallen, waar van homogeniteit in dit opzicht geen sprake is, vlakken, samengesteld uit kleine, onregelmatige stukjes, waarvan het één diffuus, het andere spiegelend reflecteert, het derde op beide wijzen gecombineerd. We denken bijv. aan de vele glimmerstukjes, in het algemeen aan allerlei kristalvorming, in natuursteen. Elke keibestrating, vele oppervlakken van het bitumendek vertoonen zulk een samenstelling. Zij nu in *fig. 1* zulk een wegdek aangegeven, waar

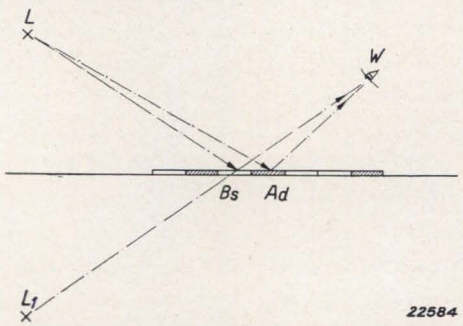


Fig. 1. Wegdek, samengesteld uit vlakjes, waarvan een deel spiegelend reflecteert (B_s), een deel diffuus reflecteert (A_d).

het vlakje A_d van het wegdek diffuus, het vlakje B_s spiegelend de lichtstralen van lichtbron L reflecteert, dan ziet de waarnemer W het vlakje A_d met een zekere helderheid op een afstand WA_d; in het vlakje B_s ziet hij de lichtbron L gespiegeld als L_1 of een afstand WL_1. De waarnemer moet dus naar een punt van het wegdek ziende zijn oogen op twee zeer verschillende afstanden instellen, wat hem moeite geeft. Het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

kan voor den waarnemer, zonder dat hij zich daarvan bewust is, vaak lastig zijn, om aldus zijn afstand tot een punt van de weg te bepalen; hij ziet niet duidelijk, waar zich dat punt bevindt [6]).

Niet slechts deze spiegelende elementen in het wegdek tellen hier mede, doch bij vochtig weer veranderen vele diffuus reflecteerende vlakjes in spiegelend reflecteerende. Een wegdek, dat droog vrijwel uitsluitend diffuus reflecteert, zooals bijv. een klinkerbestrating, kan bij vochtig weer een combinatie van reflectie-eigenschappen gaan vertoonen. Bij nat weer kan de spiegelende reflectie geheel gaan overheerschen.

Bij de hier genoemde gevallen werd steeds de mogelijkheid verondersteld, om een zich voordoende reflectie te kunnen splitsen in twee componenten, de eene gegeven door het aandeel der spiegelende, de andere door het aandeel der diffuse reflectie In tallooze gevallen evenwel is dit in 't geheel niet mogelijk, doch is het karakter der reflectie een tusschenvorm, die zich niet laat omschrijven door een combinatie van spiegelende en diffuse reflectie, maar die een eigen omschrijving zou eischen, welke helaas nog niet bestaat. Wij zijn bij de beschouwing der wegverlichting derhalve gedwongen ons voorloopig nog te behelpen met de uitdrukkingswijze „spiegelende en diffuse reflectie", om straks, bij de interpretatie der uitkomsten, ons wel voor oogen te houden, wat het optreden van dien tusschenvorm van reflectie zou kunnen beteekenen.

Keeren wij thans terug naar de weg en de zich daarop bevindende objecten. De objecten op de weg kunnen we in hoofdzaak in twee groepen onderscheiden: personen en voertuigen. Onder personen zijn dan samengevat wandelaars, fietsrijders, motorrijders. Bij al deze personen (ook bij motorrijders) zijn de rëflectieeigenschappen der kleeding beslissend, welke toevalligerwijs ook weinig moeilijkheden geven. We kunnen er nl. gevoeglijk van uitgaan, dat deze kleeding steeds diffuus reflecteerend is. Bouma deed metingen betreffende de verschillende reflectiecoëfficiënten en ging na, hoe veelvuldig deze voorkomen. Het resultaat is samengevat in *fig. 2*. Wij zien, dat een reflectie-coëfficiënt van minder dan 1 % bij overjassen, van minder dan 2 % bij costumes, ver domineert en dat coëfficiënten van meer dan 6 % slechts zeer sporadisch voorkomen. Indien we ons, wat personen betreft, baseeren op een reflectie-coëfficiënt van 5 %, hebben we blijkbaar een hooge waarde gekozen.

In de tweede groep: voertuigen, komt op de thans behandelde wegen vrijwel uitsluitend het motorvoertuig (eventueel met aanhangwagen) in aanmerking. Een dezer dagen uitgevoerde telling gaf als resultaat, dat 80 % dezer voertuigen donker

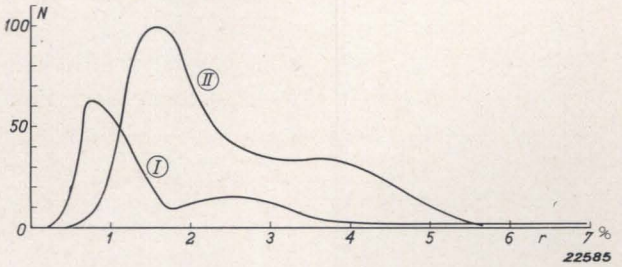


Fig. 2. Reflectie-coëfficiënten van kleeding. Kromme *I* voor overjassen, kromme *II* voor pakken. Als abscis is de reflectiecoëfficient *r* in % uitgezet, als ordinaat het aantal, waarin een kleedingstuk van zekere reflectie-coëfficient in verhouding tot andere voorkomt.

zijn en 2 % heel licht, terwijl de helderheid van 18 % ongeveer overeenkomt met die van het gemiddelde wegdek. Om na te gaan, in hoeverre deze voertuigen zullen afsteken tegen de achtergrond, zullen we geen rekening houden met de spiegelende reflectie dezer voertuigen. Deze spiegelende reflectie immers heeft slechts waarde, voor zoover een lichtstraal van de verlichtingslantaarn door het beschenen voertuig juist in het oog van den weggebruiker wordt gespiegeld; het is duidelijk, dat dit slechts toevalsflitsen zijn. Wel wordt de kans, dat het oog van den weggebruiker door zulke gespiegelde lichtstralen wordt getroffen, verhoogd door de volgende drie omstandigheden:

a) De meeste personenauto's hebben in allerlei vorm gebogen oppervlakken; door de verschillende punten van zulk een auto wordt het opvallende licht derhalve in vele richtingen gereflecteerd. De meeste vrachtauto's evenwel hebben weinig spiegelende vlakken en onderdeelen en vertoonen veel minder buiging der vlakken; bij vrachtauto's is derhalve de kans op deze toevalsreflexen naar den anderen weggebruiker gering.
b) De gemiddelde weggebruiker is zelf in beweging. Hij neemt dus t.o.v. het waargenomen, door licht bestraalde voertuig, telkens een andere plaats in en zal daardoor, indien dit voertuig spiegelend reflecteert, telkens even zoo'n gespiegelde lichtstraal kunnen opvangen.
c) Het waargenomen, door licht bestraalde, voertuig is zelf in beweging. In dat geval wordt, in combinatie met het sub b) genoemde, de kans voor den weggebruiker, om door de toevalsflitsen te worden getroffen, veel grooter. Staat echter het voertuig stil, dan blijft de kans beperkt tot a) en b), welke voor niet-spiegelende

[6]) Zoolang er voldoende punten van ondubbelzinnig houvast in zijn gezichtsveld liggen, zal de waarnemer-weggebruiker zich deze onduidelijkheid weinig realiseeren, te meer niet, omdat hij het wegdek niet fixeert. Wordt het wegkarakter evenwel overwegend overeenkomstig het geschetste geval, wat bij avond op een natte weg voorkomt, dan krijgt het wegoppervlak voor den weggebruiker iets zwevends met te weinig houvast.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

voertuigen, zooals de meeste vrachtauto's, zeker niet te hoog mag worden aangeslagen. Daarom zijn stilstaande voertuigen zoo gevaarlijk. Gesteld immers, dat achtergrond en object zich voor den weggebruiker in dezelfde helderheid voordoen zonder kleurverschillen (een geval, dat bij sommige bestaande straatverlichtingen meer voorkomt dan men vermoeden zou), dan zal de weggebruiker dit object door gebrek aan contrast niet kunnen waarnemen. Hierbij komt, dat de beweging van een object aanmerkelijk bijdraagt tot zijn zichtbaarheid.

Hoe men dit echter ook beziet, de waarnemingsmogelijkheid — die bovendien meer vraagt dan alleen, dat het oog door een toevallige lichtstraal één oogenblik wordt getroffen — blijft een kans, die zich vrijwel onttrekt aan berekening. De spiegelende reflectie der voertuigen mag derhalve geen basis vormen, waarop men een verlichtingssysteen zou baseeren. Laten we haar beschouwen als „toegift" bij het effect eener verlichtingsinstallatie. Wat de diffuse reflectie der voertuigen betreft, komt voor de groep „donker" hoogstens een reflectie-coëfficiënt van 5 % in aanmerking, voor de zeer onbelangrijke groep „heel licht" een reflectie-coëfficiënt van circa 50 %. Voor de tusschengelegen groep, overeenkomende in helderheid en kleurstelling met het gemiddelde wegdek moeten de straks genoemde toevalsflitsen van gespiegelde lichtstralen ons redden.

Nemen we derhalve voertuigen en personen tezamen, dan kunnen we ons hiervoor met vrij groote nauwkeurigheid baseeren op een reflectiecoëfficiënt van maximaal 5 %.

De reflectie van het wegdek is minder uniform; keibestrating (vele soorten van keien), klinkerbestrating, bitumendek (in zeer uiteenloopende uitvoeringen) en betondek geven aanmerkelijke verschillen. Bovendien vertoont het wegdek in vele gevallen juist die tusschenvorm van reflectie, waarover we hierboven spraken. Het wordt daarom vrijwel onmogelijk, voor het wegdek bepaalde getallen van reflectie op te geven, die als exacte waarden voor berekening opgevat zouden mogen worden.

Tegenover dit weinig positieve houvast staat echter het volgende zeer positieve verschijnsel:

Laten we ons indenken te staan (overdag) op een lange, rechte verkeersweg, waarvan de rechterhelft een wegdek heeft van grijs asphalt, de linkerhelft (een later aangebrachte verbreeding) een dek van grijsgeel asphalt (ingewalste grindlaag); de sliprand in de eene richting bestaand uit keien van Zweedsch graniet, in de andere richting uit straatklinkers.

Deze weg bekijkende krijgen we van elk dezer wegdekken een zeer bepaalde helderheidsindruk. Wij zien het grijsgele asphalt lichter dan het grijze asphalt, de sliprand van Zweedsch graniet weer lichter dan het grijsgele asphalt. We onderscheiden zeer positief een groot verschil in helderheidsindruk tusschen de sliprand van Zweedsch graniet en die van straatklinker. We krijgen van elk dezer wegdekken een eigen totale helderheidsindruk (welke pas heel in de verte op kilometers afstand verwaast en vervloeit). Deze helderheidsindrukken der verschillende wegdekken zijn zoo markant, zoowel ten opzichte van elkaar, als wat eigen totaliteit betreft, dat we wel in staat moèten zijn, dit in zekere coëfficiënten van reflectie aan te geven (vgl. *fig. 3*).

Fig. 3. Voorbeeld van het belang, de naast de weg gelegen bermen en strooken mede te verlichten, opdat een lichte achtergrond van voldoende uitgebreidheid ontstaat. Bovendien ziet men, hoe elk der verschillende banen een eigen totale helderheidsindruk geeft.

Men zou nog kunnen denken, dat deze markante verschillen berusten op kleurindrukken. Bekijken we echter dezelfde weg onder het monochromatische licht van natriumlampen, dan krijgen we dezelfde indrukken. Het moet derhalve een kwestie van helderheid zijn.

Nemen we vervolgens eenige monsters grijs papier, diffuus reflecteerend, van verschillende grijsheid, waarvan de reflectiecoëfficiënt nauwkeurig geijkt is (onderling verschil slechts 2 %) en leggen we deze monsters op de verschillende bedoelde wegdekken, dan kan iedereen zonder eenige aarzeling vaststellen, welk monster op elk wegdek dezelfde helderheid heeft als het wegdek en daardoor tusschen de andere monsters niet wordt opgemerkt, eveneens, welk monster licht en welk monster donker afsteekt, zelfs met zoo groote nauwkeurig-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

heid, dat de reflectiecoëfficient tot op 1 % nauwkeurig wordt bepaald.

We mogen derhalve de juist genoemde, zoo markante totale helderheidsindruk uitdrukken in wegdek, de bermen en de langsgelegen strooken een waarde van 10 %, daarbij voorloopig slechts de diffuse reflectie in aanmerking nemende (over spiegelende reflectie zie later), dan is het duidelijk,

Fig. 4. Het object op den weg contrasteert donker tegen een lichte achtergrond.

Fig. 5. Ook overdag steekt het object donker af tegen lichteren achtergrond, met uitzondering van de dames per rijwiel in zeer lichte zomertoiletjes rechts op het fietspad.

een coëfficiënt van diffuse reflectie dezer monsters. Op deze wijze kunnen we zeggen, dat de reflectiecoëfficiënten der verschillende wegen ongeveer liggen tusschen 5 % en 35 %, enkele uitzonderingen van zwart geteerd bitumendek daargelaten. Nemen we, om de gedachten te bepalen, voor het gemiddelde dat bij gelijke verlichting het object met een reflectiecoëfficiënt van minder dan 5 % donker zal afsteken tegen de lichtere achtergrond. Dit feit, dat men ook reeds overdag overal kan constateeren (vgl. *fig. 4* en *5*), moeten we derhalve bij kunstlicht zooveel mogelijk uitbuiten [7]). Nu ver-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

toont zich voor den weggebruiker de weg en zijn begrenzing als een horizontaal vlak, het object in hoofdzaak als een verticaal vlak. Om het sterkste contrast te verkrijgen, zou het ideaal daarom zijn, het lichte, horizontale vlak zoo licht mogelijk te maken, en vooral de donkere verticale vlakken zoo donker mogelijk te laten, wat zou beteekenen een verlichting, die het licht uitsluitend verticaal naar beneden zou werpen. Dit ideaal is practisch niet uitvoerbaar. Wij zijn gedwongen, een compromis te treffen, door de verlichting in een aantal eenheden te comprimeeren en deze eenheden op zekere afstanden uit elkaar op bepaalde hoogte aan te brengen, daarbij niet-verticale uitstraling van het licht toelatend. De vraag wordt derhalve, de gunstigste eenheden, afstanden en hoogte te bepalen, alsmede de gunstigste lichtverdeeling der lantaarns. Indien nu voor object en weg beide uitsluitend met diffuse reflectie gerekend mocht worden, zou met behulp der genoemde coëfficiënten deze bepaling vrij exact kunnen worden gedaan. Dan immers zouden de helderheden evenredig zijn met de verlichtingssterkten en men zou uit de verlichtingssterkten de helderheden direct kunnen bepalen. Terwijl voor de objecten op de weg diffuse reflectie mag worden aangenomen, speelt voor het wegdek de spiegelende reflectie een niet te verwaarloozen rol. Zooals reeds volgt uit hetgeen hierboven werd opgemerkt, loopt deze spiegelende reflectie voor verschillende wegdekken zeer uiteen, wijzigt zich met den hoek, waaronder de weggebruiker het wegdek ziet en bovendien met de hoek, waaronder het licht invalt [8]). Aangezien wij, zooals juist opgemerkt, met niet-verticale lichtuitstraling der lantaarns, derhalve met allerlei invalshoeken kleiner dan 90°, moeten werken, wordt de berekening door deze zeer variabele en uiterst lastig te bepalen factor zeer bemoeilijkt. Laboratorium-metingen binnenskamers aan kleine proefstukken wegdek uitgevoerd, mogen voor de theoretische bepaling van de helderheidsindruk zeer interessant zijn, het totale wegdek van de werkelijke weg zal ons toch een geheel andere helderheidsindruk geven. De oorzaak hiervan ligt allereerst in het feit, dat onze waarneming ons een indruk van een totaliteit geeft, welke indruk niet gelijk mag worden gesteld aan de som van de indrukken, die worden afgeleid uit de laboratoriummetingen aan de samenstellende onderdeelen afzonderlijk. Deze helderheidsindruk wordt in de practijk bovendien mede beinvloed door de kleur van het licht en door de meerdere of mindere verblinding van de lantaarns der wegverlichting en van de lichten op de voertuigen. Zou met al deze factoren bij het projecteeren eener verlichting eventueel nog rekening kunnen worden gehouden, voor de beoordeeling van een bestaande verlichting is het onmogelijk vast te stellen, welk aandeel elk dezer factoren heeft in de beinvloeding van de zichtbaarheid op de weg. Daarom is het uiterst belangrijk, dat we thans in „Philips zichtbaarheidsmeter" van Holst en Bouma over een middel beschikken, waarmede we deze zichtbaarheid op de werkelijke weg, inclusief alle invloeden, die zich daar voordoen, direct kunnen waardeeren [9]). Uit vele metingen met deze zichtbaarheidsmeter, op verschillende wegen uitgevoerd, heeft men nu bovendien een onderste grens kunnen bepalen, waaraan wegomstandigheden nog moeten voldoen, wil men met redelijke veiligheid die weg met een snelheid van 80 km/uur kunnen berijden. Het blijkt, dat hiervoor object en achtergrond gemiddeld minstens een contrast van 3 : 4 moeten vormen [10]).

Als het beste middel om het contrast zooveel mogelijk op te voeren, wordt vaak aanbevolen, gebruik te maken van de spiegelende eigenschappen van het wegdek. Aangezien voor elk oppervlak de spiegelende reflectie toeneemt naarmate de invalshoek der opvallende lichtstralen kleiner wordt, meent men van deze eigenschap bij wegverlichting dankbaar gebruik te kunnen maken en propageert men daarom een lichtverdeeling met zeer kleine invalshoeken, hetgeen bovendien het voordeel zou meebrengen, òf van grootere lichtpuntsafstand, òf van zeer geringe lichtpuntshoogte. In de figuren 6 t/m 9 hebben we deze kwestie nader bezien. In deze figuren stelt *AB* een sterk vergroot plekje van het wegoppervlak voor, door den weggebruiker *W* gezien in de richtingen tusschen *a* en *b*. Het plekje wordt getroffen door lichtstralen, komend van een lichtbron *L* in de richting *l*. Aangezien het plekje *AB* zeer klein ondersteld wordt, mogen de opvallende lichtstralen onderling evenwijdig worden aangenomen. In alle figuren wordt slechts het aandeel der spiegelende reflectie beschouwd. In *fig. 6* maken de opvallende lichtstralen een hoek α met de horizontaal. Een gedeelte der lichtstralen, nl. *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6* treft het oppervlak op zulke punten,

[7]) Opmerkelijk is het daarbij, hoe weinig de kleurcontrasten zelfs overdag een rol spelen bij het waarnemen van het object op de weg.

[8]) Onder invalshoek wordt hier verstaan de hoek, die een lichtstraal maakt met het (horizontale) wegoppervlak; dus niet de hoek, die zij maakt met de normaal op dat vlak.

[9]) Zie Philips techn. T. **1**, 353, 1936.

[10]) Feitelijk hebben we hiermede een nieuwe grondslag voor waardebepaling van een verlichting ingevoerd, nl. „de mogelijkheid om met een snelheid van 80 km/uur veilig te kunnen rijden".

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dat zij juist in de richting van den waarnemer worden gereflecteerd. Andere bijv. *7*, *8*, *9* worden zoo weerkaatst, dat zij niet naar den waarnemer gaan, dus ook niet medewerken aan de helderheidsindruk, die de waarnemer krijgt. Weer andere, bijv. *10*, *11* worden wel ongeveer in de richting van den waarnemer gereflecteerd, doch dan door de oneffenheid van het oppervlak voor den waarnemer afgeschermd. Wordt een plekje van dezelfde structuur door lichtstralen onder hoek β getroffen, *fig. 7*, dan zien we, dat er in dit oppervlak voor den waarnemer reeds vrij aanzienlijke schaduwplekken ontstaan. Wordt de invalshoek nog kleiner, zooals hoek γ in *fig. 8*, dan blijft het gedeelte *A* tot *D* geheel in schaduw en wordt er practisch geen licht meer gereflecteerd in de richting naar den waarnemer. De waarnemer ziet het gedeelte *AD* derhalve donker.

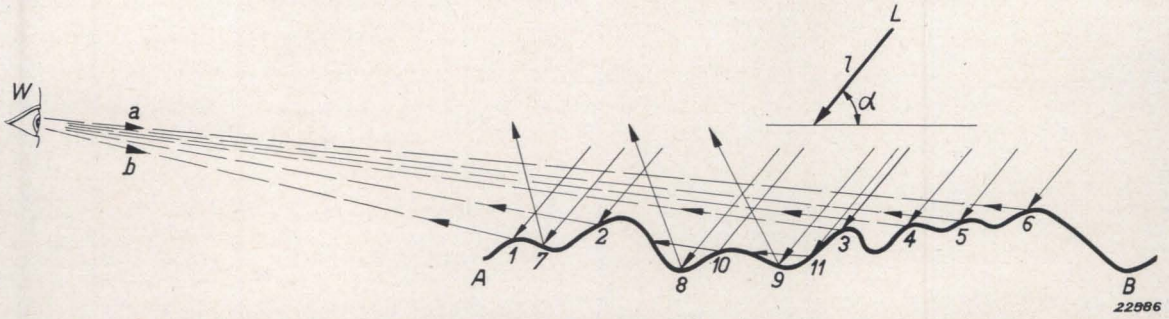


Fig. 6. Spiegelende reflectie van een sterk vergroot stukje wegoppervlak, getroffen door lichtstralen onder hoek α; reflectie deels naar den waarnemer, deels in geheel andere richting, deels opgevangen door de oneffenheden van het oppervlak.

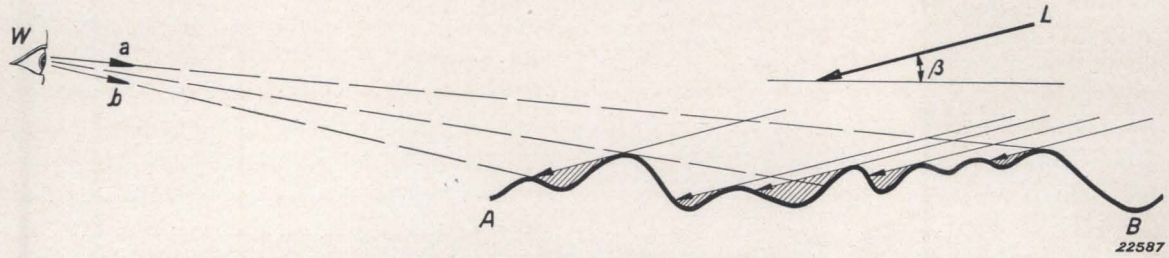


Fig. 7. Spiegelende reflectie van een sterk vergroot stukje wegoppervlak, getroffen door lichtstralen onder hoek β; door de oneffenheden ontstaan slagschaduwen.

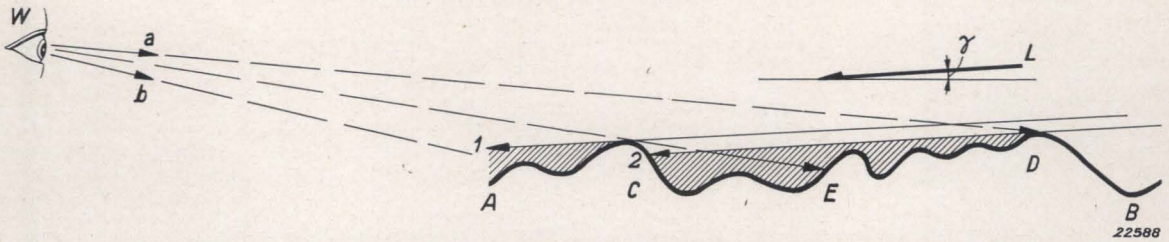


Fig. 8. Spiegelende reflectie van een sterk vergroot stukje wegoppervlak, getroffen door lichtstralen onder de kleine hoek γ; door de oneffenheden ontstaan lange slagschaduwen; het schaduwgedeelte kan ook niet diffuus reflecteeren.

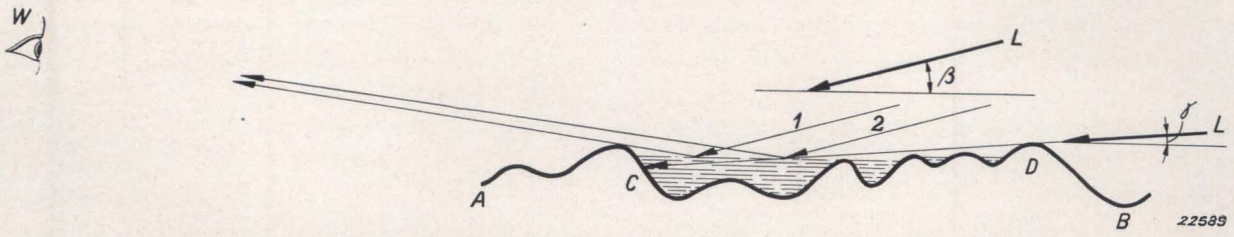


Fig. 9. Spiegelende reflectie van een sterk vergroot stukje wegoppervlak in natte toestand, getroffen door lichtstralen onder hoek β of onder hoek γ; in geval van hoek γ blijft de lange slagschaduw grootendeels van invloed.

Bij nat weer (zie *fig. 9*) zijn de holten in het oppervlak als het ware kleine vijvertjes geworden. Bij een invalshoek β zal de spiegelende reflectie in de richting van *W* inderdaad grooter kunnen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

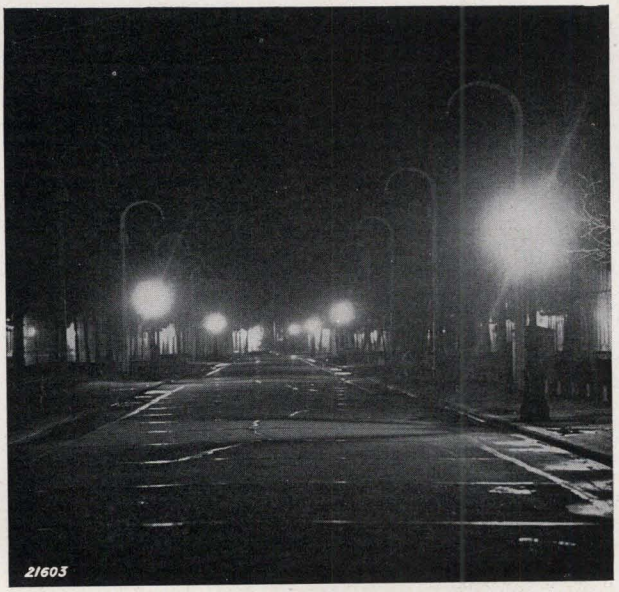


Fig. 10. Alleen de toppen van een oneffen vochtig wegdek geven spiegeling bij kleine invalshoeken van het licht.

zijn dan in het geval van fig. 7. Doch bij een invalshoek γ blijft het gedeelte CD in donker en komt feitelijk alleen de spiegeling der hoogste toppen tot uiting.

zien we, hoe weinig bij dergelijke invalshoeken van het lichteffect terecht moet komen. Alleen de toppen geven spiegelende reflectie in de lijn van waarnemer naar lichtbron; alles daarbuiten blijft voor den waarnemer donker. En zoo ontstaan smalle richtlijnen over een donker wegoppervlak (vgl. *fig. 10*). Practisch heeft het geen zin, te streven naar verhooging van de helderheid van het wegdek door invalshoeken kleiner dan ongeveer 10° te gebruiken, d.w.z. uitstraling van lichtbron L in hoek β naar het gedeelte AB toe te passen, zie *fig. 11*. Doch er is nog een heel ander motief, dat ten sterkste spreekt tegen zulk een uitstraling. Zij in fig. 7 de ooghoogtelijn van een zich voortbewegenden weggebruiker-waarnemer gegeven in $W_1\,W_2\,W_3\,W_4$. Indien de lichtbron L uitstraling geeft in het geheele gebied onder de horizon, dan wordt het oog van den waarnemer links van W_2 getroffen door lichtstralen, die met zijn kijkrichting (aangenomen dat deze horizontaal recht vooruit is) kleinere hoeken maken dan 10°, links van W_3 kleinere hoeken dan 15°. Nu is gebleken, dat de verblinding, dus de afname der contrastgevoeligheid, het grootst ist, indien de lichtstralen het oog onder

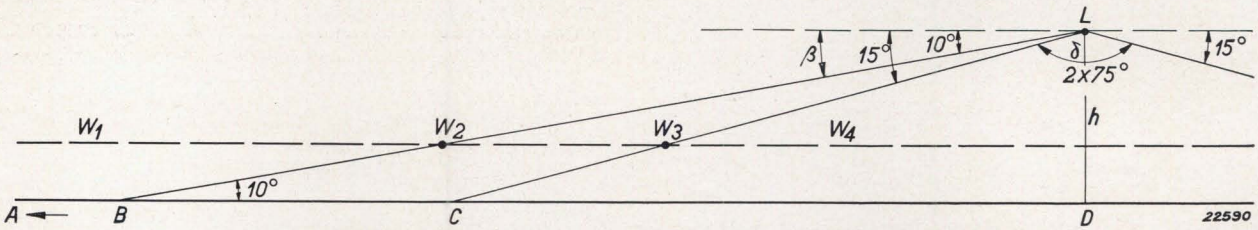


Fig. 11. Verticale doorsnede van een weg, waarboven lichtbron L, en met bewegenden waarnemer W, met ooghoogtelijn $W_1W_2W_3W_4$. Afscherming der uitstraling van lichtbron L tot hoek δ (2 maal 75°).

We moeten bovendien bedenken, dat ook het vlakste wegdek nimmer een werkelijk vlak oppervlak heeft, temeer niet, omdat het zeer terecht dikwijls ruw wordt gemaakt tegen het slipgevaar. Genomen proeven toonden aan, hoe bij kleine invalshoeken oneffenheden van onderdeelen van een millimeter hoogte den waarnemer de indruk gaven van holten, die centimeters diep schenen. Door de lange slagschaduwen is er bij kleinere invalshoeken natuurlijk evenmin sprake van diffuse reflectie, omdat de gedeelten CD, ook al zouden ze volkomen diffuus reflecteerend van aard zijn, geen licht ontvangen en derhalve niets kunnen reflecteeren. Het is dus van belang, te weten, bij welke invalshoek dit effect van slagschaduw ongeveer optreedt. Nu geeft een oneffenheid van 9 mm diepte reeds bij een invalshoek van 5° een slagschaduw van 10 cm! Als we ons de oneffenheden der langgerekte kuilen in vele gebruikte bitumendekken indenken, kleine invalshoeken treffen [11]). Zoo vond Bouma o.a., dat voor „wit licht" bij $\beta = 2{,}5°$ onder omstandigheden, zooals zich op de weg voordoen, de contrastgevoeligheid daalt tot 43% van de waarde, die zij heeft zonder verblinding, bij $\beta = 5°$ tot 62 % [12]). Bouma en met hem vele andere onderzoekers [13]) vinden, dat grooter dan circa 15° (Bouma noemt zelfs als gewenscht 15° - 20°). Uitstraling van lichtbron L mag het oog van den weggebruiker niet treffen vóór het punt W_3, afscherming van deze uitstraling over een hoek $\beta = 15°$ is derhalve noodzakelijk.

De toelaatbare uitstralingshoek δ van de lantaarn ligt hierdoor vast: $\delta = 2$ maal 75°; en

[11]) De invalshoek is hier de hoek, die een lichtstraal maakt met de blikrichting van den waarnemer.

[12]) P. J. Bouma, De Ingenieur **49** A, 290 - 294, 1934.

[13]) Philips techn. T. **1**, 225, 1936, en de daar genoemde verdere literatuur.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

hiermede is, bij gegeven lichtpunthoogte h de reikwijdte, en daaruit ook de lichtpuntafstand a, gegeven; of, omgekeerd bij bepaalde lichtpuntafstand a de lichtpunthoogte g. Thans rest nog het bepalen van de lichtverdeeling der lantaarns bij gebruik van gegeven lichtbronnen.

Binnen de gevonden uitstralingshoeken der lantaarn kan de spiegelende reflectie van het wegdek, vooral bij nat weer en bij sommige wegdekmaterialen, belangrijk zijn. Met het oog op deze reflectie komen we tot zekere eischen voor lantaarn en lichtbron. Zij in *fig. 12* de lengtedoorsnede en het

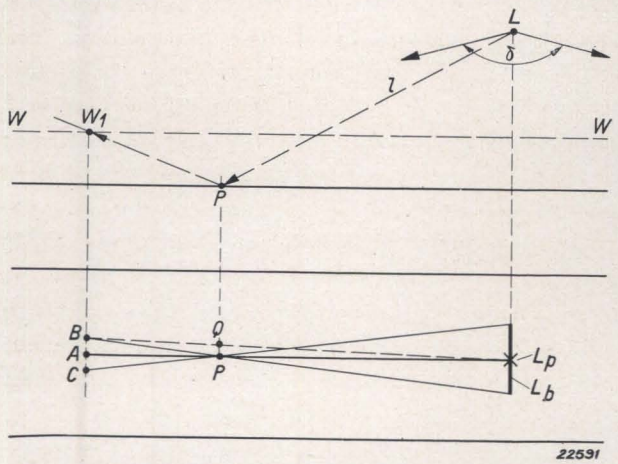


Fig. 12. Verticale doorsnede en bovenaanzicht van een weg, waarboven lichtbron L. Effect der spiegelende reflectie op waarnemer W van puntvormige lichtbron L_p en van dwars uitgerekte lichtbron L_b.

bovenaanzicht geteekend voor een wegverlichting door lichtbron L met ooghoogtelijn van den waarnemer WW (eenvoudigheidshalve lichtbron en waarnemer op de lengte-as van de weg). Zij nu de lichtbron L eerst puntvormig gedacht L_p, zooals een heldere gloeilamp of een lantaarn met zoodanig prismaglas, dat in elke richting de lantaarn slechts puntvormig straalt. De waarnemer in A zal nu het punt P van het straatoppervlak licht zien (we spreken alleen over de spiegelende reflectie), met een helderheid van dezelfde orde van grootte als de helderheid van de lichtbron. Bevindt zich de waarnemer echter in B, dan zal hij weliswaar op eenzelfde wijze het punt Q licht zien, doch het punt P blijft voor hem donker. Nemen we nu een lichtbron L_b met dezelfde lichtsterkte, doch met een grooter stralend oppervlak, uitgebreid in de breedterichting van de weg. Het is duidelijk, dat de waarnemer thans niet slechts in A, doch ook tot in de punten B en C het punt P van het wegdek licht blijft zien, en wel steeds in een helderheid, lager dan in het eerste geval, omdat de lichtbron L_b door haar grooter stralend oppervlak met eenzelfde totale lichtsterkte een lagere helderheid heeft dan de lichtbron L_p. Bij toepassing van een breed uitgerekte lichtbron L_b wordt aldus, mede door de oneffenheid van het wegdek, dat de bovengenoemde glimvlakjes in allerlei richtingen bevat, een spiegelende reflectie verkregen, welke zich niet meer in smalle lijnen van verblindende helderheid vertoont, doch in breedere banen van lagere helderheid (vgl. *fig. 13*),

Fig. 13. De breed uitgerekte lichtbron met groot stralend oppervlak geeft op een nat wegdek breede lichtbanen van betrekkelijk lage helderheid.

zoodat de hinderlijke verblindende reflectie, zooals afkomstig van de puntvormige lichtbron L_p, wordt vermeden. Bovendien kunnen bij onoordeelkundig plaatsen der lichtbronnen deze breede banen zoodanig op elkaar aansluiten, dat zelfs bij nat weer toch een overal helder wegdek kan worden waargenomen.

Een soortgelijk effect doet zich voor, wat de verticale uitgebreidheid van de lichtbron betreft. Uit *fig. 14* is duidelijk, dat bij een puntvormige

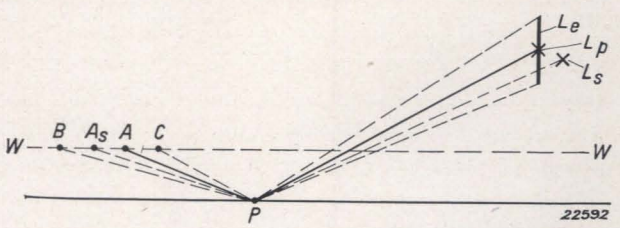


Fig. 14. Verticale doorsnede van een weg, waarboven lichtbron L. Effect der spiegelende reflectie op waarnemer met ooghoogtelijn WW van puntvormige lichtbron L_p, verticaal uitgebreide lichtbron L_e en spiegelreflector L_p+L_s.

lichtbron L_p, die een spiegelend horizontaal gedeelte van het wegdek verlicht, de waarnemer

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

alleen in A het punt P licht zal zien. Heeft echter de lantaarn een grooter stralend oppervlak van verticale uitgebreidheid, bijv. gegeven door het schijnbaar oppervlak van een geëmailleerde reflector, zoodat zij werkt als lichtbron L_e, dan ziet de waarnemer het punt P licht, wanneer hij zich van B tot C beweegt, en wel, evenals in het vorige geval, weer met een lagere helderheid. Vervangt men de emaille reflector door een spiegelreflector, dan heeft deze voor elk punt een daarmee overeenkomend spiegelbeeld, bijv. L_s voor punt P. Nu zal de waarnemer weliswaar punt P niet slechts in A, doch ook in A_s, licht zien, doch weer met een hoogere, meestal verblindende helderheid, terwijl bovendien de afstand, waarover hij P licht ziet, veel geringer is dan bij lichtbron L_e. Door de oneffenheid van het wegdek, dat, zooals reeds werd opgemerkt, deze spiegelende glimvlakjes in allerlei richtingen bevat, wordt ook de puntsgewijze reflectie van een puntvormige lichtbron L_p en haar spiegelbeeld L_s dikwijls tot een voor den waarnemer uitgerekte lichtlijn. Dit blijft ook het geval bij een verticaal uitgerekte lichtbron L_e; doch de samenstellende punten van de lichtlijn hebben thans een lagere helderheid in de richting naar den waarnemer. Een combinatie lantaarn-lichtbron, uitgevoerd zoowel in breedte als in hoogte uitgerekt, zal derhalve op een wegdek met veel spiegelende elementen de waarneembare reflectie over grootere oppervlakken uitbreiden en de anders verblindende helderheid verminderen.

De bij vochtig weer zoo hinderlijke, scherp begrensde weerkaatsing op het wegdek, van lange lichtstrepen met hooge helderheid, waarnaast het overige wegdek diep donker wordt gezien, wordt derhalve in sterke mate vermeden door lichtbron en lantaarn samen een groot stralend oppervlak te geven. Doch het gewenschte effect wordt niet bereikt, indien men de verticale uitgebreidheid zoekt in een spiegelende reflector, welke punten van hooge helderheid in onze kijkrichting doet ontstaan. Het is duidelijk, dat, wil men een spiegelreflector toepassen, de lichtverdeeling en de stralingsrichting van zulk een reflector uiterst zorgvuldig moeten worden berekend en uitgevoerd, en dat men zulk een reflector, mits goed uitgevoerd, nog uiterst zorgvuldig moet monteeren om te zorgen, dat de hinderlijke helderheidspunten buiten de kijkrichting van den weggebruiker vallen. Dat men, een diffuus weerkaatsende reflector terwille van juist genoemde voordeelen accepteerende, hiertegenover een exacte lichtverdeeling van de lantaarn moet verwaarloozen, zal blijken practisch van betrekkelijk weinig belang te zijn.

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

TELEVISIE-ONTVANGST MET GEPROJECTEERD BEELD

door M. WOLF.

Samenvatting. Een methode van televisie-ontvangst wordt beschreven, waarbij het op het fluorescentiescherm van een kleine kathodestraalbuis gevormde beeld door projectie op een matglazen scherm van afmetingen tot 1 m bij 1,20 m wordt overgebracht.

Inleiding

In enkele vorige artikelen in dit tijdschrift [1]) werd het weergeven van een televisiebeeld op het fluorescentiescherm van een kathodestraalbuis beschreven. Deze methode levert een beeld, dat rijkelijk klein is om door een aantal personen tegelijkertijd zonder bijzondere inspanning te worden waargenomen. Men is daarom reeds tot grootere buizen met fluorescentieschermen van 40 cm diameter overgegaan. Kathodestraalbuizen van dergelijke afmetingen hebben echter verschillende bezwaren, die met nog verder toenemende grootte vrijwel onoverkomelijk worden.

In de eerste plaats moet het eindvlak van de buis bij toenemende diameter steeds sterker gekromd zijn om aan de druk van de buitenlucht weerstand te kunnen bieden; hierdoor wordt het televisiebeeld aan de hoeken vervormd. Deze vervorming treedt des te duidelijker aan de dag, naarmate men zich bij de waarneming van het beeld meer verwijdert van de as van de buis, zoodat bij dergelijke groote buizen het gebied, dat geschikt is voor waarneming, beperkt wordt door de mate van vervorming, die men nog juist toelaatbaar acht. In *fig. 1* is voor een aantal verschillende schermdiameters de vorm weergegeven, die men aan het eindvlak moet geven om bij een zoo vlak mogelijk scherm aan de glastechnische eischen van sterkte te voldoen zonder te moeten overgaan tot groote glasdikten. In de figuur zijn de verschillende diameters even groot geteekend, daar het slechts op de vorm aankomt.

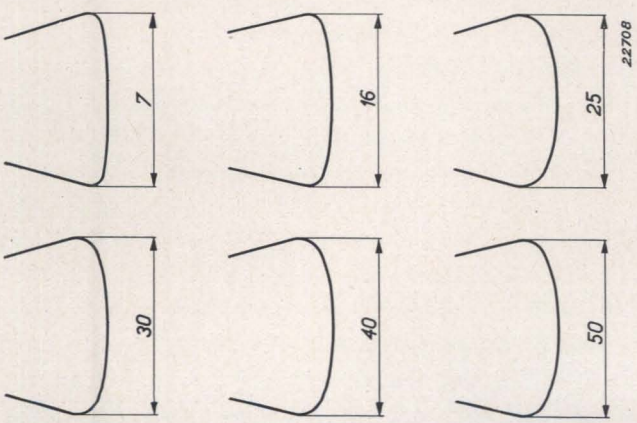


Fig. 1. Vorm van het uit glastechnisch oogpunt toelaatbare, zoo weinig mogelijk gekromde eindvlak voor kathodestraalbuizen bij verschillende diameters.

[1]) Philips techn. T. **1**, 16 en 323, 1936; **2**, 33, 1937.

Een tweede moeilijkheid voor het toepassen van groote buizen is gelegen in de omstandigheid, dat de maatregelen, die men tegen een implosie van de buis dient te nemen teneinde een veilige opstelling te verkrijgen, snel toenemen met de doorsnede van de buis.

Tenslotte ligt het voor de hand, dat de fabricagekosten voor de groote buizen snel met de diameter van het eindvlak toenemen, waardoor, bij gebruik in een televisie-ontvangapparaat, de kathodestraalbuis een onevenredig kostbaar bouwelement wordt.

Aan het bezwaar van het kleine beeldformaat kan men tegemoet komen door het fluorescentiebeeld op een scherm te projecteeren. Het blijkt inderdaad zeer wel mogelijk om, gebruik makende van een kleine televisiebuis van groot vermogen, bij geschikt gekozen optische hulpmiddelen, een geprojecteerd televisiebeeld van volkomen bevredigende scherpte en helderheid te verkrijgen, waarvan de afmetingen tot ca. 100 bij 120 cm gekozen kunnen worden. Voor huiskamergebruik, waarbij rekening gehouden moet wordem met betrekkelijk kleine ruimte voor het opstellen van toeschouwers, is het van voordeel, de grootte van het geprojecteerde beeld niet boven ca. 40 bij 50 cm te kiezen. De voor waarneming van het beeld gunstigste afstand tot het projectiescherm ligt tusschen 5 en 10 maal de breedte van het beeld. Grooter beeldformaat dan boven aangegeven, zou dus eischen stellen aan de in de huiskamer beschikbare ruimte, waaraan in de meeste gevallen niet voldaan kan worden.

In hetgeen volgt zullen in het kort beschreven worden de projectie-kathodestraalbuis en de optische hulpmiddelen, waarmede van de door de buis uitgezonden lichthoeveelheid zoo nuttig mogelijk partij getrokken wordt.

De projectie-kathodestraalbuis

Het optische systeem, dat men voor de projectie wil gebruiken, dient een zoo groot mogelijke relatieve opening te hebben. Wil men niet in zeer kostbare optische stelsels vervallen, dan dient de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

diameter van het beeld klein te zijn; in verband daarmee mocht de diagonaal van het beeld op het fluorescentiescherm een lengte van 8 cm niet overschrijden.

Hieruit volgt evenwel, dat men aan de scherpte van het focus van de electronenbundel zeer hooge eischen moet stellen. Bij een televisieraster van 405 lijnen zal de diameter van het focus ten hoogste ca. 0,1 mm mogen zijn. Men is dientengevolge aangewezen op het toepassen van hooge anodespanningen, waarbij het bereiken van een kleine focusdoorsnede principieel gemakkelijker is [2]), terwijl daarbij tevens het vermogen, dat in de electronenbundel naar het scherm gebracht wordt, groot kan zijn. Voor de Philips projectiebuis werd een bedrijfsspanning van 20 tot 25 kV gekozen.

Voor de focusseering van de electronenbundel kunnen zoowel electrostatische als magnetische lenzensystemen gebruikt worden. Met behulp van magnetische focusseering kan men evenwel blijkens de ervaring eenvoudiger een zeer klein focus bereiken dan met electrostatische lenzensystemen, o.a. omdat men dan met een geringer aantal electroden kan volstaan. Dit laatste is een groot voordeel, wanneer men bedenkt, dat hier in een betrekkelijk beperkte ruimte een electrodensysteem ondergebracht moet worden, geschikt voor een bedrijf met ca. 25 kV als hoogste spanning. In de projectiebuis, die in dit laboratorium ontwikkeld werd, is dan ook magnetische focusseering toegepast.

In *fig. 2* is de constructie van deze buis schematisch weergegeven. Het rooster g heeft in de voorwand een kleine cirkelvormige opening,

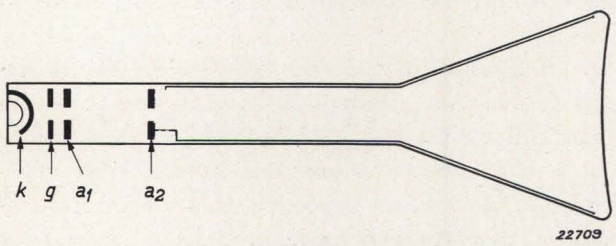


Fig. 2. Schema van de constructie van de projectiebuis. k kathode, g rooster, a_1 zuiganode, a_2 eindanode.

waarachter zich de vlakke, met emitteerend materiaal bedekte, voorzijde van de kathode k bevindt. Door de zuiganode a_1, die eveneens een kleine opening heeft, concentrisch met de opening in het rooster, worden de electronen uit de kathode getrokken, waarna ze in het versnellende veld tusschen zuiganode en eindanode a_2 hun eindsnelheid verkrijgen. De metalen anode a_2 is geleidend verbonden met een geleidende laag op de binnenzijde van de buis, die de geheele wand tusschen de anode a_2 en het fluorescentiescherm bedekt. Afgezien van de betrekkelijk geringe spanningsdaling, die het fluoresceerend scherm ondergaat bij het beschieten met de electronen uit de bundel, is deze door a_2 en de geleidende laag ingesloten ruimte electrisch veldvrij. Tusschen de anode a_2 en het conische gedeelte van de ballon is het focusseerende magneetveld aangebracht, dat wordt gevormd door een spoel, die omgeven is door een ijzeren mantel met luchtspleet. Door deze luchtspleet wordt het focusseerende magneetveld op eenige afstand achter a_2 geconcentreerd. Verder zijn in deze ruimte ook de magneetvelden voor de afbuiging van de electronenbundel aangebracht.

Fig. 3 geeft een afbeelding van de projectiebuis, zooals deze in de televisie-ontvangapparaten wordt toegepast.

De grootte van de straalstroomsterkte wordt voornamelijk bepaald door de spanningen aan het rooster en aan de zuiganode, het veld van de hoogspanningsanode grijpt slechts weinig tot op de kathode door. De werking van het samenstel van kathode, rooster en zuiganode is volkomen vergelijkbaar met de werking van een triode. Als regel wordt de zuiganode op een spanning van 250 V ten opzichte van de kathode gebracht. De electronenbundel is dan geheel en al onderdrukt bij een negatieve roosterspanning van ca. 40 tot 50 V, terwijl de straalstroomsterkte bij geheel open rooster ($V_g = 0$) 400 tot 800 μA bedraagt.

In *fig. 4* is de straalstroomkarakteristiek van de projectiebuis weergegeven voor een zuiganodespanning van 250 V en een eindanodespanning van 20 kV.

De optische hulpmiddelen

A) De projectielens

Men zal er naar streven, voor het afbeelden van het fluorescentiebeeld een optisch stelstel te gebruiken met zoo groot mogelijke relatieve opening en met een met het oog op de kosten van de projectielens zoo klein mogelijke brandpuntsafstand. Daarbij stuit men evenwel spoedig op het bezwaar, dat dergelijke lenzen slechts geschikt zijn voor het afbeelden van een beeldvlak met een kortere diagonaal dan 8 cm.

Om hieraan tegemoet te komen, is bij de constructie van de projectiebuis een kunstgreep toegepast. Voor verschillende optische stelstels van groote lichtsterkte ligt bij het afbeelden van een vlak voorwerp de begrenzing van het oppervlak, dat door het lenzenstelsel in zijn geheel scherp

[2]) Philips techn. T. 1, 33, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

wordt afgebeeld, in hoofdzaak in de kromming van het beeldvlak en slechts voor een klein gedeelte in de overige optische fouten, die bij het gebruik van groote invalshoeken kunnen optreden. Teneinde een vlak beeld op het projectiescherm te verkrijgen brengt men het fluorescentiebeeld aan op een oppervlak, dat in overeenstemming met de beeldveldkromming van de lens gebogen is; in dat geval is het mogelijk, een veel grooter oppervlak in zijn geheel scherp af te beelden dan in het geval van een volkomen vlak voorwerp. Hiermede is nu bij de constructie van de kathodestraalbuis rekening gehouden, doordat aan het eindvlak van de buis een zoodanige kromming is gegeven, dat de fluoresceerende laag juist een dergelijk aan de beeldveldkromming van de projectielens aangepast gebogen oppervlak vormt. Het is voldoende bekend, dat hiertoe de kromming van het oppervlak zoodanig gekozen moet worden, dat het kromtemiddelpunt aan dezelfde zijde ligt, als de lens. De bodem van de projectiebuis is dus hol, in tegenstelling met de bodem van een normale kathodestraalbuis. Bij de betrekkelijk kleine diameter van het eindvlak is het vervaardigen van dusdanig gevormde ballons zeer goed mogelijk zonder bezwaar uit het oogpunt van sterkte.

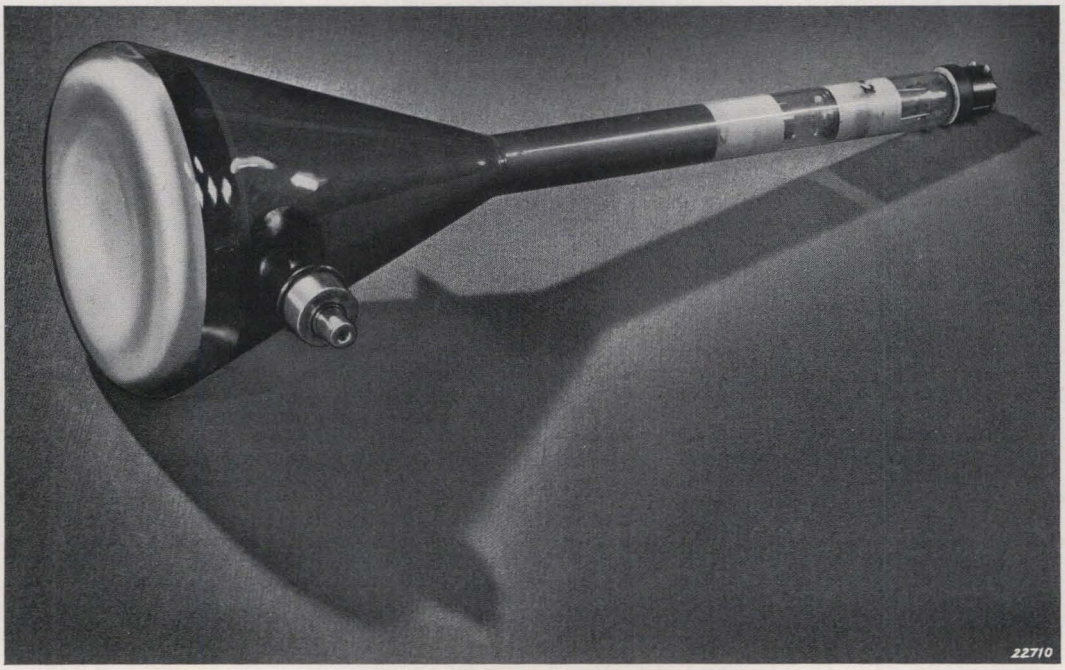


Fig. 3. Projectiebuis, met hol eindvlak.

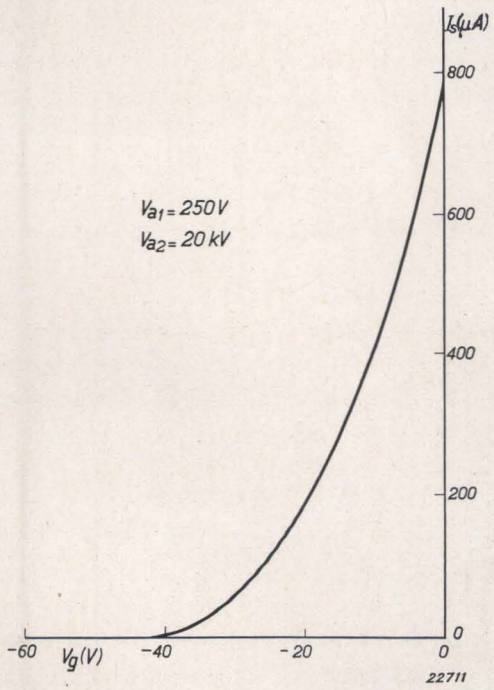


Fig. 4. Straalstroom als functie van de roosterspanning.

In fig. 3 is duidelijk te zien, dat het eindvlak van de buis naar binnen gekromd is. In fig. 2 is deze kromming tevens schematisch aangegeven.

Bij het toepassen van een dergelijke geschikt gekozen gekromde bodem bleek het mogelijk, een televisiebeeld van 48 bij 58 mm te projecteeren op een vlak scherm van 40 bij 50 cm met een volkomen bevredigende scherpte over het geheele oppervlak van het beeld, gebruik makende van een projectielens met een relatieve opening 1/1,9. Dit optische stelsel is bij normaal gebruik uiteraard slechts geschikt voor afbeelding van een oppervlak, waarvan de diagonaal niet grooter is dan ca. 45 mm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

B) Het projectiescherm

De lichthoeveelheid, die door een dergelijke lens bij de afbeelding wordt doorgelaten, is evenwel nog steeds zeer gering. Wanneer we onder rendement van het optische stelsel verstaan de verhouding van de hoeveelheid licht, dat door de lens in een bepaald oppervlakte-elementje van het beeld wordt vereenigd tot de hoeveelheid licht, die door het daarmede overeenkomende oppervlakte-element in het voorwerp in totaal wordt uitgestraald, dan vinden we, dat dit rendement bij het bovengenoemde optische stelsel slechts ongeveer 4 % bedraagt. Deze waarde kan men gemakkelijk verifieeren door berekening, in aanmerking nemend, dat de fluoresceerende laag ten naaste bij straalt volgens de wet van Lambert en rekening houdende met de verliezen door absorptie en reflectie in het optische stelsel.

Het is dus duidelijk, dat van de totale door het optische stelsel doorgelaten hoeveelheid licht een zoo nuttig mogelijk gebruik gemaakt dient te worden. Zou men het beeld projecteeren op een volgens de wet van Lambert diffuus reflecteerend scherm, dan zou de helderheid van het geprojecteerde beeld bij een vergrooting van 10 maal slechts 0,0004 van de helderheid van het fluorescentiescherm bedragen. Daar deze laatste oppervlaktehelderheid van de orde van grootte van 10^4 tot $2 \cdot 10^4$ lux [3]) is, zou dus de helderheid van het geprojecteerde beeld slechts ongeveer 4 tot 8 lux kunnen worden. Men is dus genoodzaakt, zich te bedienen van min of meer spiegelend reflecteerende schermen of van doorzichtige schermen, die het licht minder sterk dan volgens Lambert verspreiden. De eerstgenoemde oplossing komt in verband met de betrekkelijk korte afstand tusschen optiek en scherm (kleine brandpuntsafstand) niet in aanmerking: men zou voor opstelling van waarnemers tusschen de projecteerende lens en het opvangscherm ternauwernood ruimte kunnen vinden. De tweede mogelijkheid evenwel biedt zeer vele voordeelen. In dit geval kan van de korte afstand tusschen projectielens en scherm met voordeel partij getrokken worden om kathodestraalbuis, lens en projectiescherm in één apparaat onder te brengen, waarbij de totale lichtweg tusschen voorwerp en beeld binnen het ontvangapparaat verloopt. Er zijn dan aan het ontvangapparaat geen afzonderlijk op te stellen deelen en aan de voor waarneming bestemde zijde van het scherm is de beschikbare ruimte niet beperkt.

Als doorzichtig verspreidend scherm wordt een gematteerd glazen scherm gebruikt. Valt op een dergelijk gematteerd scherm van een zijde een smalle bundel evenwijdige lichtstralen, dan wordt deze door het gematteerde oppervlak verspreid, zoodat aan de andere zijde van het scherm niet slechts licht in het oog van den waarnemer valt, indien deze zich met het oog in het verlengde van de opvallende bundel opstelt, maar tevens, indien de verbindingslijn van zijn oog met de door de lichtbundel getroffen plek van het scherm een zekere hoek met deze richting insluit. In het algemeen neemt de waargenomen helderheid af met toenemen van deze hoek. Men kan zich van de aard van de verstrooiïng van een bepaald scherm een duidelijke voorstelling vormen, indien men de waargenomen helderheid in een bepaalde richting in een figuur aangeeft door een pijl van een lengte, evenredig met de waargenomen helderheid, getrokken in de richting van waarneming. *Fig. 5* licht dit nader toe. De verbindingslijn van de toppen der pijlen geeft de verstrooiingskromme van het beschouwde scherm weer. In fig. 5 is deze verstrooiïngskromme in relatieve maatstaf geteekend voor een tweetal matglazen schermen van verschillende fijnheid van matteering.

Het is duidelijk, dat bij een smalle verstrooiingskromme, zooals fig. 5*a*, de in voorwaartsche richting verstrooide helderheid bij dezelfde verlichtingssterkte grooter zal zijn dan bij een verstrooiingskromme, zooals in fig. 5*b*, daar immers in het geval weergegeven

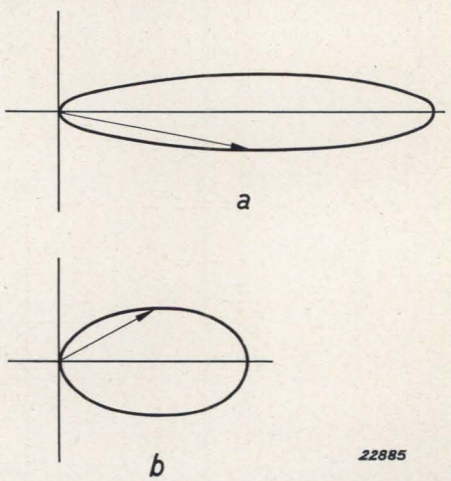


Fig. 5. Verstrooiingskrommen voor twee matglazen van verschillende fijnheid van matteering. Het minder verstrooiende scherm (*a*) is het gewenschte.

door de kromme *a*, de aan de achterzijde opvallende energie voornamelijk in voorwaartsche richting wordt geworpen. Men kan dus de verstrooiende

[3]) Wanneer van een helderheid van een bepaald aantal lux gesproken wordt, wordt daarmede bedoeld, dat de helderheid even groot is, als men zou waarnemen, indien men een volgens Lambert reflecteerend wit scherm zou belichten met een verlichtingssterkte van het genoemde aantal lux.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

schermen karakteriseeren door de hoeveelheid licht, die in voorwaartsche richting wordt verstrooid. Het ligt voor de hand, deze intensiteit te vergelijken met de intensiteit, die bij verstrooiïng van dezelfde primaire lichtbundel aan een diffuus, volgens de wet van Lambert reflecteerend scherm, bij loodrechte inval in teruggaande richting zou worden verstrooid en de verhouding tusschen deze twee intensiteiten te definieeren als de versterking van het verstrooiende scherm. In de meeste gevallen is deze versterking vrij belangrijk; in de gevallen, voorgesteld in fig. 5 bij *a* en *b*, resp. 9,9 en 4,6.

Men zou dus geneigd zijn een scherm te gebruiken, waarvan de verstrooiingskromme smal is. Daarbij zou men evenwel spoedig op het bezwaar stuiten, dat midden en rand van het geprojecteerde beeld door een waarnemer op de as van het projectiesysteem met te groot helderheidsverschil zouden worden waargenomen, terwijl tevens de gemiddelde helderheid van het geheele beeld snel zou afnemen, indien de waarnemer zich van de as van het systeem zou verwijderen, waardoor het voor beschouwing van het beeld geschikte gebied te smal zou worden.

Het is dus zaak, tusschen deze voor- en nadeelen een practisch bruikbare middenweg te kiezen. Het is gebleken, dat het scherm, waarvan de verstrooiingskromme in fig. 5*a* is weergegeven, een zeer goed compromis oplevert. De toelaatbare helderheidsverschillen tusschen midden en rand van het beeld mogen, in overeenstemming met de ervaring bij de projectie van filmbeelden, betrekkelijk groot

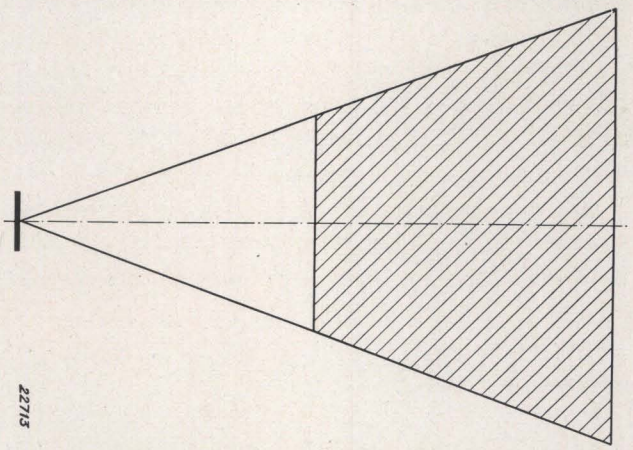


Fig. 6. Gebied, geschikt voor het waarnemen van het televisiebeeld, is door arceering aangegeven.

zijn: een helderheidsverschil van ca. 50 % wordt nog nauwelijks waargenomen. Hieruit is het te verklaren, dat met een betrekkelijk nog zeer smalle strooikegel, als weergegeven in fig. 5*a*, nog volkomen bevredigende resultaten te bereiken zijn. Het voor waarneming geschikte gebied wordt hierbij ruwweg begrensd door twee lijnen uit het midden van het scherm onder een hoek van ongeveer 20° met de as van projectie getrokken en door de reeds eerder genoemde maximum en minimum afstand tot het scherm, zoodat een trapeziumvormige ruimte ontstaat, waarvan het oppervlak bij een beeldgrootte van 40 bij 50 cm ongeveer 8 m² bedraagt.

In *fig. 6* is het waarnemingsgebied door arceering aangegeven. Het ligt voor de hand, dat ook buiten dit gebied beschouwing van het beeld zeer goed mogelijk is, zij het dan onder minder ideale condities. De helderheid in de witte partijen van het beeld, die men bij gebruik van een verstrooiend scherm als in fig. 5*a* in het beeld bereikt, is ongeveer 30 - 60 lux, hetgeen voor televisie-ontvangst in een matig verlicht vertrek ruimschoots voldoende blijkt te zijn.

Fig. 7 geeft tenslotte een tweetal opnamen van op het matglas geprojecteerde televisiebeelden. Ter vergelijking beschouwe men de opnamen van het beeld op het fluorescentiescherm van een normale kathodestraalbuis, zooals deze werden gepubliceerd in Philips techn. T. 1, 325, 1936.

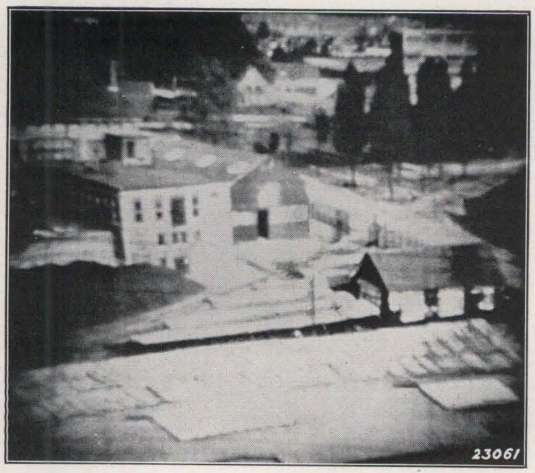


Fig. 7. Televisiebeelden, gefotografeerd van het matglazen projectiescherm van 40 bij 50 cm. Aantal lijnen 405; geinterlinieerd beeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

PRACTISCHE TOEPASSINGEN VAN RÖNTGENOGRAFISCH MATERIAALONDERZOEK. XII

door W. G. BURGERS.

24. Onvolmaakte kristallen

Voorbeeld: Diamant

Zooals reeds meerdere malen werd opgemerkt, kan de verstrooiing der röntgenstralen door kristallen worden opgevat als een terugkaatsing aan de vlakken, welke door de atomen in het kristal gevormd worden. De röntgenstralen worden hierbij in dezelfde richting teruggekaatst als lichtstralen door een gewone spiegel.

Het is duidelijk, dat de terugkaatsing alleen scherp tot de spiegelrichting beperkt blijft, indien de terugkaatsende roostervlakken vlak zijn, zooals dit bij een ongestoord kristalrooster inderdaad het geval is. In vele gevallen bevindt zich het kristalrooster echter niet in deze ideale toestand.

In de eerste plaats zijn in de natuur gevormde kristallen dikwijls niet ideaal, maar opgebouwd uit een groot aantal onderling over hoogstens enkele graden van elkaar afwijkende blokken (men spreekt dan wel van een mozaiekkristal). De onvolmaaktheid van dergelijke kristallen kan een gevolg zijn van omstandigheden, welke bij de groei een rol gespeeld hebben, zooals bijv. zeer snelle kristallisatie, waardoor een zuiver evenwijdige groei van het kristalrooster bemoeilijkt kan worden.

In de tweede plaats kunnen afwijkingen van de ideale roosterstand het gevolg zijn van mechanische bewerking. Door de daardoor in het materiaal opgewekte inwendige spanningen zullen overeenkomstige roostervlakken niet meer in alle deelen van een kristal of de verschillende kristallieten, waaruit een materiaal is opgebouwd, op volkomen gelijke afstand van elkaar liggen, of ook min of meer verbogen zijn.

Het is wel zonder meer begrijpelijk, dat al dergelijke roosterstoringen oorzaak kunnen zijn, dat de röntgenstralen teruggekaatst worden in richtingen, welke eenigszins afwijken van die, welke bij een ongestoord kristal optreden. In het röntgenbeeld zal zich dit uiten door een verbreeding of vervaging der reflecties, welke zich in de afzonderlijke gevallen op verschillende wijzen kan uiten. Bestaat het te onderzoeken praeparaat uit één enkel kristal, hetwelk tot een foto met een betrekkelijk gering aantal stippen aanleiding geeft (Laue-foto), dan zullen deze stippen, indien we met een gestoord kristal te doen hebben, tot min of meer lange streepen zijn uitgerekt (men denke aan het spiegelbeeld, dat in een gebogen spiegel waargenomen wordt). Is het onderzochte materiaal fijnkristallijn, zoodat het interferentiebeeld een zeer groot aantal stipjes vertoont, welke bij voldoende fijnheid der kristallieten tot continue ringen op de foto aanleiding geven (Debije-Scherrer-foto), dan zullen deze ringen vervaagd of verbreed zijn, indien de afzonderlijke kristallieten tengevolge van mechanische bewerking of anderszins vervormd zijn.

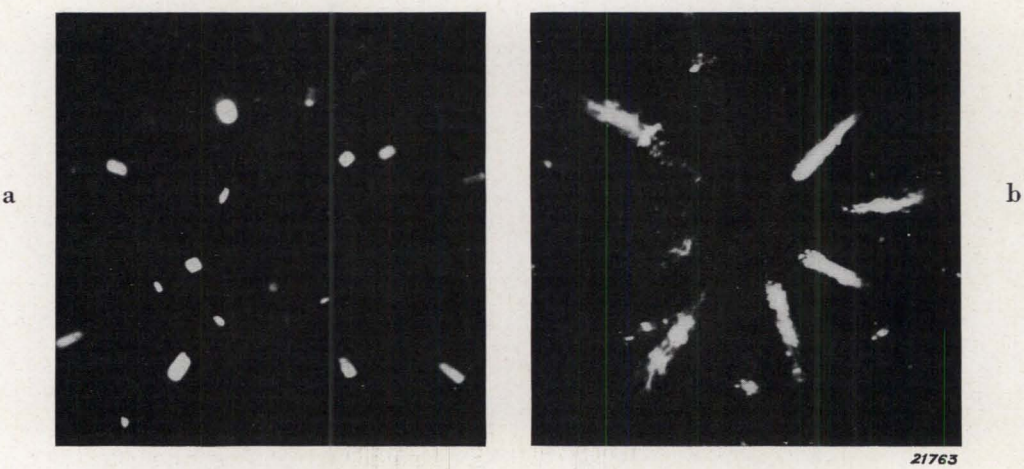


Fig. 1. Röntgenfoto's van natuurlijke diamant.
a heldere steen, ongestoord kristalrooster.
b donkere steen, gestoord rooster, opgebouwd uit een groot aantal blokken met onderling een weinig afwijkende oriënteering (mozaiek-kristal).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Terwijl voorbeelden, waarbij het laatstgenoemde effect zichtbaar is, reeds in artikel VIII dezer serie [1]) weergegeven zijn, laat *fig. 1* twee röntgenfoto's zien van twee natuurlijke diamanten: foto *a* is afkomstig van een helder, foto *b* van een donker uitziende steen. Het verschillende karakter der door terugkaatsing van röntgenstralen aan de kristalvlakken ontstane stippen is opvallend. De langgerekte, meer of minder uit afzonderlijke stipjes samengestelde streepen in foto *b* wijzen er op, dat de donkere diamant, in tegenstelling tot de heldere, uit een „mozaiek" van niet volkomen evenwijdige kristalblokken is opgebouwd. Het is duidelijk, dat een dergelijk verschil in structuur met een verschil in kwaliteit der diamanten ten opzichte van bepaalde eigenschappen (bijv. helderheid, brosheid) kan samenhangen.

25. Aantoonen van zeer kleine kristallen

Voorbeeld: Verschil in kristalgrootte bij zinksulfide

Behalve de hierboven besproken oorzaak van lijnvervaging in röntgenopnamen bestaat er nog een andere. Deze hangt samen met het feit, dat de wisselwerking tusschen kristalrooster en röntgenstralen in wezen een interferentie verschijnsel is, waarbij de verstrooiing der golven slechts dan in zeer bepaalde richtingen plaats vindt, indien een groot aantal atomen hierbij op geschikte wijze samenwerken. Dientengevolge blijft ook bij een volkomen ongestoord kristalrooster de terugkaatsing aan de atoomvlakken alleen scherp tot de spiegelrichting beperkt, indien het getroffen kristal een zekere minimale grootte (van ongeveer 0,1 μ) heeft. Is dit niet het geval en bestaat dus het onderzochte praeparaat uit nog kleinere kristalletjes, dan worden ook stralen teruggekaatst in richtingen, die merkbaar van de spiegelrichting afwijken. Het gevolg hiervan is, dat de teruggekaatste stralenbundels een zekere (angulaire) wijdte bezitten en dientengevolge op de fotografische film tot verbreede lijnen aanleiding geven.

Een voorbeeld hiervan vertoont *fig. 2*, welke twee röntgenfoto's laat zien van een praeparaat zinksulfide, hetgeen uit een zinkzoutoplossing was neergeslagen. Om een bepaalde verandering in physische eigenschappen te controleeren werden opnamen van het praeparaat na twee verschillende warmtebehandelingen genomen, nl. na drogen bij 100 ° (foto *a*) en na gloeien bij 500 ° gedurende 1 uur (foto *b*). De lijnen van foto *a* zijn duidelijk verbreed: dit wijst er op, dat de neergeslagen en daarna alleen „gedroogde" kristalletjes zinksulfide kleiner zijn dan ongeveer 0,1 mikron, terwijl uit de scherpe lijnen in *b* volgt, dat zij bij het verhitten op 500 ° tot groote kristallen zijn samengegroeid. Deze zijn anderzijds kleiner dan ongeveer 10 mikron, aangezien bij deze grootte de continue interferentie-

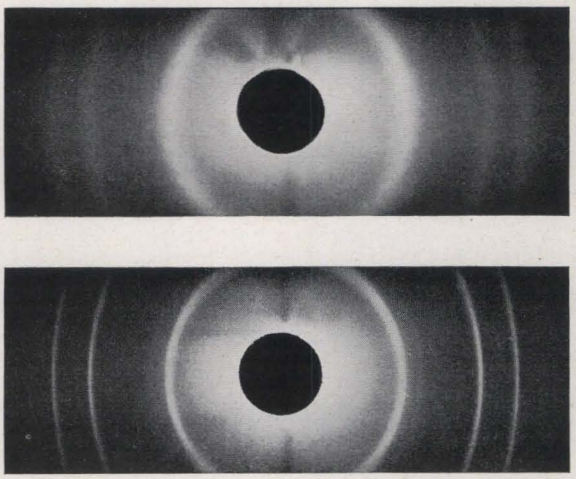


Fig. 2. Röntgenfoto's van gepraecipiteerd zinksulfide.
a neergeslagen en gedroogd bij 100 °C.
b na gloeien op 500 °C gedurende 1 uur.
De verbreede lijnen in *a* wijzen op de aanwezigheid van kristalletjes met afmetingen kleiner dan 0,1 mikron. Door het gloeien op 500 ° zijn deze tot grootere samengegroeid, zooals uit het scherp worden der lijnen blijkt.

lijnen in afzonderlijke stipjes uiteenvallen, zooals fig. 2*b* uit artikel IX dezer reeks [2]) bij een gerekristalliseerd nikkelbuisje laat zien.

Het optreden van vage interferentielijnen kan dus zoowel aan de aanwezigheid van zeer kleine, als van door inwendige spanningen gestoorde kristallen toegeschreven moeten worden, en in elk voorkomend geval zal men zich van deze beide mogelijkheden rekenschap moeten geven. Niet altijd zal het gemakkelijk zijn met zekerheid uit te maken of de eerste dan wel de tweede van beide mogelijkheden (of eventueel alle twee) als de oorzaak van een waargenomen lijnverbreeding beschouwd moet worden. Een geval, waarin dit onder omstandigheden zeer lastig kan zijn, doet zich voor bij het onderzoek van zeer fijn gemalen poeders, waar de kristallen bij het malen niet alleen kleiner worden, maar ook tengevolge van de mechanische bewerking een vervormen der kristalletjes kan optreden. Ook bij praeparaten, welke plotseling bijv. door zeer snelle sublimatie uit een dampfase afgescheiden zijn, kunnen zeer goed kristalletjes ontstaan, welke zoowel zeer klein zijn, als een meer of minder gestoord rooster bezitten. Feitelijk moet ook bij het bovenvermelde gepraecipiteerde zinksulfide deze mogelijkheid overwogen worden.

[1]) Philips techn. T. **1**, 377, 1936.

[2]) Philips techn. T. **2**, 29, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

26. Amorfe stoffen

We willen deze reeks artikelen beëindigen met een korte bespreking van het röntgenografisch effect, dat optreedt, indien we een niet-kristallijne, zg. amorfe stof, zooals glas, kunsthars e.d., met röntgenstralen onderzoeken op de wijze, als hierboven bij kristallijne stoffen toegepast is. Men zou kunnen verwachten, dat hierbij in het geheel geen gerichte interferentie optreedt, omdat de moleculen der amorfe stoffen niet volgens een rooster gerangschikt liggen, zooals bij kristallen het geval is. Het blijkt echter, dat ook amorfe stoffen tot interferentieverschijnselen bij bestraling met röntgenstralen aanleiding geven. Dit is een gevolg van het feit, dat ook in deze stoffen, evenals zelfs in vloeistoffen, de moleculen in het algemeen niet volkomen onregelmatig door elkaar liggen, maar nog min of meer ten opzichte van elkaar, althans wat de naaste buren van ieder molecuul betreft, gerangschikt zijn. Dientengevolge kan men, wat betreft de verstrooiing der opvallende straling, een amorfe stof ruwweg als een zeer sterk vervormd rooster opvatten, waarin alleen nog in zeer kleine, weinige moleculen omvattende gebiedjes van een ordening ten opzichte van elkaar sprake kan zijn.

In verband met hetgeen boven over de invloed van roostervervormingen bij kristallen en van de aanwezigheid van uiterst kleine kristallen op het röntgenbeeld is medegedeeld, kan het nu niet verwonderen, dat amorfe stoffen en vloeistoffen een röntgeninterferentiediagram geven, dat uit één of enkele zeer vage interferentieringen bestaat. In *fig. 3 a-d* zijn vier dergelijke diagrammen (van kunstharsen: phenol- en cresolformaldehydharsen) weergegeven. Het blijkt uit *a*, *c* en *d*, dat harsen, welke door polymerisatie uit verschillende grondmoleculen verkregen zijn, tot duidelijk verschillende (wat diameter en scherpte der ringen betreft) diagrammen aanleiding geven, wat daarmede samenhangt, dat de grootte der samenstellende moleculen en dus hun onderlinge afstand en rangschikking in de gepolymeriseerde moleculen verschillend is. Tot op zekere hoogte kunnen dus zelfs zoo ongedefiniëerde stoffen als harsen langs röntgenografischen weg van elkaar onderscheiden worden. Foto's *a* en *b* zijn beide afkomstig van dezelfde harssoort, echter bij verschillende polymerisatiegraad. Dit verschil komt in de röntgenfoto's niet tot uiting, hetgeen niet verwonderlijk is, indien men bedenkt, dat bij toenemende polymerisatiegraad een steeds grooter aantal grondmoleculen zich op een zich voortdurend herhalende wijze tegen het reeds gepolymeriseerde molecuul aanleggen: de rangschikking en onderlinge afstand der grondmoleculen verandert daarbij echter niet.

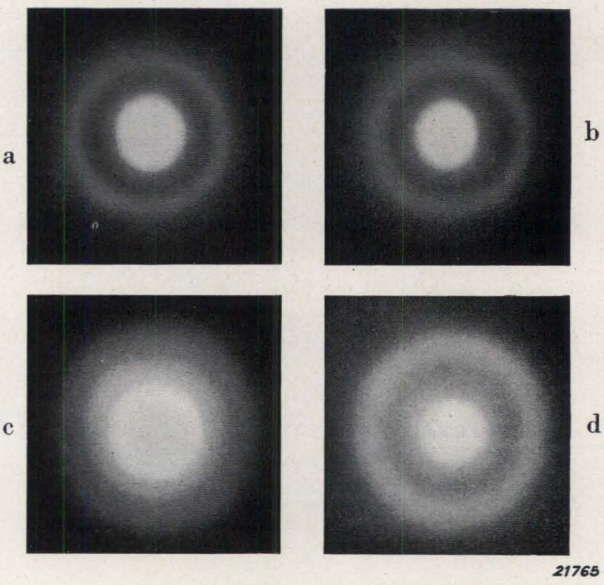


Fig. 3. Röntgenfoto's van kunstharsen.
a Phenolformaldehydhars, laag gepolymeriseerd.
b Phenolformaldehydhars, hoog gepolymeriseerd.
c o-Cresolformaldehydhars.
d p-Cresolformaldehydhars.

Tenslotte moge nog worden opgemerkt, dat het groote onderscheid in het interferentie-effect tusschen een amorfe en een kristallijne stof het mogelijk maakt vast te stellen, of een bepaald preparaat of materiaal kristallijn of amorf is, een kwestie, die bijv. in de practijk bij het beoordeelen der al of niet echtheid van edelsteenen van belang kan zijn. Uit glas vervaardigde producten zijn daarbij onmiddellijk te herkennen aan het optreden van één of enkele vage ringen in het interferentiediagram inplaats van scherpe stippen (vgl. foto 1 *a* van diamant).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!